

EDITORES

Lisiane Ilha Librelotto, Dra. (UFSC)
Paulo Cesar Machado Ferroli, Dr. (UFSC)

CONSELHO EDITORIAL

Aguinaldo dos Santos, UFPR
Andrea Jaramillo Benavides, PUC - (Equador)
Amilton José Vieira de Arruda, UFPE
Anna Meroni, POLIMI (Itália)
Caio Frederico e Silva, UnB
Carlo Franzato, UNISINOS
Helena Maria Coelho da Rocha Terreiro Galha Bártolo, IPL (Portugal)
José Manuel Couceiro Barosa Correia Frade, IPL (Portugal)
Jorge Lino Alves, UP - INEGI (Portugal)
Laia Haurie Ibarra – UPC (Espanha)
Lisiane Ilha Librelotto, UFSC
Paulo Cesar Machado Ferroli, UFSC
Rachel Faverzani Magnago, UNISUL
Roberto Bologna, UniFI (Itália)
Tomás Queiroz Ferreira Barata, UNESP
Vicente de Paulo Santos Cerqueira, UFRJ

EDITORES DE SEÇÃO:

ARQUITETURA E URBANISMO

Andrea Jaramillo Benavides, PUC - Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Equador
Laia Haurie Ibarra – UPC – Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha
Lisiane Ilha Librelotto – UFSC – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil

DESIGN

Anna Meroni, POLIMI - Politécnico di Milano, Itália
Aguinaldo dos Santos, UFPR - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Brasil
Amilton José Vieira de Arruda Santos – UFPE – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Brasil
Carlo Franzato – UNISINOS – UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS, Brasil
José Manuel Couceiro Barosa Correia Frade, IPE - ESCOLA SUPERIOR DE ARTES E DESIGN - POLITÉCNICO DE LEIRIA, Portugal
Paulo Cesar Machado Ferroli – UFSC – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Brasil
Vicente de Paulo Santos Cerqueira – UERJ – UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, Brasil

AVALIADORES

Adriane Shibata Santos, UNIVILLE – Universidade da região de Joinville, Brasil
Adriano Heemann, UFPR – Universidade Federal do Paraná, Brasil
Aguinaldo dos Santos, UFPR – Universidade Federal do Paraná, Brasil
Alberto Portioli Staudacher, POLIMI – Politecnico di Milano, Itália
Alessandra Gerson Saltiel Schmidt, ESADE – Barcelona
Alexandre Márcio Toledo, FAU/UFAL – Universidade Federal de Alagoas, Brasil
Alexandre Silva de Vargas, UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
Aline Eyng Savi, UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Brasil
Aline Teixeira de Souza, UFU – Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Almir Barros da S. Santos Neto, UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
Amilton José Vieira de Arruda, UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
Ana Beatriz Avelino Barbosa – UFPR - Universidade Federal do Paraná, Brasil
Ana Claudia Maynardes, UnB – Universidade de Brasília, Brasil
Ana Kelly Marinoski Ribeiro, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Ana Lúcia Papst de Abreu, IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil
Ana Paula da Silva Milani, UFMS – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Brasil
Ana Paula Kieling, UNIVALI/UFSC – Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil
Ana Veronica Pazmino, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Anderson Saccol Ferreira, UNOESC – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Brasil
André Canal Marques, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
Andrea Jaramillo Benavides, IKIAM – Universidad Regional Amazónica, Equador
Andrea Franco Pereira, UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
Ângela do Valle, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Anja Pratschke, USP - IAU - Universidade de São Paulo, Brasil
Anna Cristina Andrade Ferreira, UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
Antônio Bernardo Mendes Seiza Providência Santarém, UMinho – Universidade do Minho, Portugal
Antônio Roberto Miranda de Oliveira, UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
Arnoldo Debatin Neto, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Ayrton Portilho Bueno, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Beany Monteiro Guimarães, UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
Betina Tschiedel Martau, UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Bernat Vinolas Prat, UFVJM - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Bruna Lummertz Lima, IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil
Camila Assis Peres Silva, UFCG - Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
Camila Correia Teles, UnB - Universidade de Brasília, Brasil
Caren Michels, UFAM – Universidade Federal do Amazonas, Brasil
Carla Arcoverde de Aguiar Neves, IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil
Carla Martins Cipolla, UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
Carla Pantoja Giuliano, FEEVALE – Universidade Feevale, Brasil
Carlos Alberto Mendes Moraes, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
Carlos Humberto Martins, UEM – Universidade Estadual de Maringá, Brasil
Carlos Manuel Luna Maldonado, UNIPAMPLONA - Universidad de Pamplona, Colômbia
Carlo Franzato, PUC – Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil
Cecília Prompt, Margem Arquitetura, Brasil
Celia Neves, Terra Brasil, Brasil
Celso Salamon, UTFPR - Universidade Tecnológica do Paraná, Brasil
Cesar Fabiano Fioriti, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Brasil
Chrystianne Goulart Ivanoski, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

ENGENHARIAS

Flávio Gabriel da Silva Craveiro, IPEleiria - INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA, Portugal

Joel Dias da Silva, FURB - UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU, Brasil

Rachel Faverzani Magnago – UNISUL – UNIVERSIDADE DO SUL, Brasil

DE SANTA CATARINA, Brasil

DESIGN

João Pedro Scremin Ramos (UFSC)

Rebeca da Silva Nascimento Pereira (UFSC)

PERIODICIDADE

Four-monthly publication/ Publicação quadrimestral

CONTATO

lisiane.librelotto@ufsc.br

ferroli@cce.ufsc.br

DIREITOS DE PUBLICAÇÃO



Lisiane Ilha Librelotto, Dra. (UFSC)

Paulo Cesar Machado Ferroli, Dr. (UFSC)

UFSC | Universidade Federal de Santa Catarina

CTC | Centro Tecnológico

CCE | Centro de Comunicação e Expressão

VirtuHab

Campus Reitor João David Ferreira Lima

Florianópolis - SC | CEP 88040-900

Fones: (48) 3721-2540

(48) 3721-4971

Foto da capa por Maksim Shutov na Unsplash

AVALIADORES QUE PARTICIPARAM DESTA EDIÇÃO

- 1) Alessandra Buss Tessaro, Universidade Federal do Rio Grande (FURG);
- 2) Alexandre Márcio Toledo, Universidade Federal do Alagoas (FAU/UFAL);

Chrystianne Goulart Ivanoski, UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Claudete Barbosa Ruschival, UFAM - Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Cláudia Queiroz Vasconcelos, UNIFESSPA – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil

Cláudio Pereira de Sampaio, UEL – Universidade Estadual de Londrina, Brasil

Coral Michelin, UPF – Universidade de Passo Fundo, Brasil

Cristiane Carine dos Santos, UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Cristiane Mesquita, Universidade Anhenbi Morumbi, Brasil

Cristiano Alves, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Cristina Colombo Nunes, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Cristina de Araújo Lima, UFPR – Universidade Federal do Paraná, Brasil

Cristina Sousa Rocha, LNEG – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Portugal

Cristine do Nascimento Mutti, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Cyntia Santos Malaguti de Sousa, FAU/USP – Universidade de São Paulo, Brasil

Danielle Costa Guimarães, UFIFAP – Universidade Federal do Amapá, Brasil

Daniilo Corrêa Silva, UNIVILLE – Universidade da Região de Joinville, Brasil

David Andres Torreblanca Diaz, UPB - Universidad Pontificia Bolivariana, Colômbia

Deivis Luis Marinoski, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Denise Dantas, FAU/USP – Universidade de São Paulo, Brasil

Dianne Magalhães Viana, UnB – Universidade de Brasília, Brasil

Douglas Luiz Menegazzi, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Eduardo Raimundo Dias Nunes – UFERSA – Universidade Federal do Semi-Árido, Brasil

Eduardo Battista, UNLP - Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Elenir Carmen Morgenstern, UNIVILLE – Universidade da Região de Joinville, Brasil

Eliana Paula Calegari, UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Elvis Caríssimi, UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Enzo Morosini Frazzon, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Erondina Azevedo de Lima, UnB - Universidade de Brasília, Brasil

Fabiane Escobar Fialho, FADERGS – Centro Universitário de Desenvolvimento do Rio Grande do Sul, Brasil

Fabiano Ostapiv, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

Fabrizio Farias Tarouco, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Felipe Luis Palombini, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Fernanda Hansch Beuren, UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil

Fernando Alberto Alvarez Romero, UTADAO - Universidade de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia.

Fernando Barth, UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Flávio Gabriel da Silva Craveiro, IPEleiria - Instituto Politécnico de Leiria, Portugal

Francisco Assis Silva Mota, UFPI - Universidade Federal do Piauí, Brasil

Gabriel Cremona Parma, UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina, Brasil

Germannya D'Garcia de Araújo Silva, UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Giovani Maria Arrigone, FACULDADE SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Brasil

Giselle Blasius Follmann, Centro Universitário Católica, Brasil

Guilherme Philippe Garcia Ferreira, UFPR – Universidade Federal do Paraná, Brasil

Graziela Breitenbach de Moura, UNIVALI - Universidade do Vale do Itajaí, Brasil

Helena Maria Coelho da Rocha Terreiro Galha Bártolo, IPEleiria - Instituto Politécnico de Leira, Portugal

Inara Pagnussat Camara, UNOESC – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Brasil

Ingrid Scherdien, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Isabel Kaufmann de Almeida, UFMS - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Brasil

Istefani Carisio de Paula, UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

- 3) Ana Kelly Marinoski Ribeiro, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 4) André Canal Marques, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS);
- 5) Arnaldo Debatin Neto, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 6) Bernat Vinolas Prat, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM);
- 7) Carla Pantoja Giuliano, Universidade Feevale (FEEVALE);
- 8) Carlos Humberto Martins, Universidade Estadual de Maringá (UEM);
- 9) Carlos Alberto Mendes Moraes, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS);
- 10) Cesar Fabiano Fioriti, Universidade Estadual Paulista (UNESP);
- 11) Celia Neves, Terra Brasil;
- 12) Cláudio Pereira de Sampaio, Universidade Estadual de Londrina (UEL);
- 13) Cristiane Carine dos Santos, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM);
- 14) Chrystianne Goulart Ivanoski, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 15) Danilo Corrêa Silva, Universidade de Joinville (UNIVILLE);
- 16) Felipe Luis Palombini, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM);
- 17) José Manuel Couceiro Barosa Correia Frade, Politécnico de Leiria, Portugal (IPLeiria);
- 18) Júlio Cezar Augusto da Silva, Instituto Nacional de tecnologia (INT);
- 19) Karla Emmanuela Ribeiro Hora, Universidade Federal de Goiás (UFG);
- 20) Lisiane Ilha Librelotto, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- 21) Maria do Socorro Ferreira dos Santos, Universidade Federal do Piauí (UFPI);
- 22) Márcio Pereira Rocha, Universidade Federal do Paraná (UFPR);
- 23) Mariana Kuhl Cidade, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM);
- 24) Mônica Maranhã Paes de Carvalho, Instituto de Educação Superior de Brasília (IESB);
- 25) Nadja Maria Mourão, Universidade do Estado de Minas Gerais (UFMG);
- 26) Patrícia Freitas Nerbas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS);
- 27) Patrícia Marins Farias, Universidade Federal da Bahia (UFBA);
- 28) Walter Franklin M. Correia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE);
- 29) Willmar Ricardo Rugeles Joya, Pontifícia Universidad Javeriana, Colômbia (POJaveriana).

- Ítalo de Paula Casemiro, UFRJ – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Brasil
- Itamar Ferreira Silva, UFCG – UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
- Ivan Luiz de Medeiros, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
- Ivandro Bonetti, IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil
- Jacqueline Keller, SENAC – Faculdade d Florianópolis, Brasil
- Janaina Mazutti, UFP – Universidade de Passo Fundo, Brasil
- João Candido Fernandes, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Brasil
- João Victor Correia de Melo, PUC-RIO - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil
- Joel Dias da Silva, FURB – Universidade Regional de Blumenau, Brasil
- José Guilherme Santa Rosa, UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil
- José Manuel Couceiro Barosa Correia Frade, IPLeiria – Escola Superior de Artes e Design – Politécnico de Leiria, Portugal
- Jorge André Ribas Moraes, UNISIC - Universidade de Santa Cruz do Sul, Brasil
- Josiane Wanderlinda Vieira, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
- Júlio Cezar Augusto da Silva, INT - Instituto Nacional de Tecnologia, Brasil
- Karine Freire, UNISINOS – Universidade do Vale dos Sinos, Brasil
- Karla Emmanuela Ribeiro Hora, UFG - Universidade Federal de Goiás, Brasil
- Laia Haurie Ibarra – UPC – Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha
- Leila Dal Moro, Business School – IMED, Brasil
- Liliane Iten Chaves, UFF – Universidade Federal Fluminense, Brasil
- Lisandra de Andrade Dias, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
- Lisiane Ilha Librelotto, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
- Luana Toralles Carbonari, UEM – Universidade Estadual de Maringá, Brasil
- Luana Miranda Esper Kallas, UFG - Universidade Federal de Goiás, Brasil
- Lucimery Dal Medico, URI - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil
- Luciana de Figueiredo Lopes Lucena, UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil
- Luiz Mauricio Furtado Maues, UFPA - Universidade Federal do Pará, Brasil
- Marcelo Diniz Vitorino, FURB – Universidade de Blumenau, Brasil
- Marcelo Jasmim Meiriño, UFF – Universidade Federal Fluminense, Brasil
- Marcelo de Mattos Bezerra, PUC – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil
- Marcelo Gitriana Gomes Ferreira, UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil
- Márcio Pereira Rocha, UFPR – Universidade Federal do Paraná, Brasil
- Marco Antônio Rossi, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Brasil
- Marcos Brod Júnior, UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
- Maria Luisa Telarolli de Almeida Leite, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Brasil
- Maria Fernanda Oliveira, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
- Mariana Kuhl Cidade, UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
- Marina de Medeiros Machado, UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
- Marli Teresinha Everling, UNIVILLE – Universidade da Região de Joinville, Brasil
- Marta Karina Leite, UTFPR - Universidade Federal do Paraná, Brasil
- Maycon Del Piero da Silva, UNEOURO – Faculdade de Ouro Preto do Oeste, Brasil
- Michele Tereza Carvalho, UnB – Universidade de Brasília, Brasil
- Miguel Barreto Santos, IPLeiria – Instituto Politécnico de Leiria, Portugal
- Mônica Maranhã Paes de Carvalho, IESB – Instituto de Educação Superior de Brasília, Brasil
- Monique Lessa Vieira Olimpio, UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
- Nadja Maria Mourão, UEMG – Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
- Natalia Hauenstein Eckert, UNICRUZ – Universidade de Cruz Alta, Brasil
- Natalí Abreu Garcia, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Nathalie Barros da Mota Silveira, UFCG - Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
Neide Schulte, UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil
Niander Aguiar Cerqueira, UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Brasil
Normando Perazzo Barbosa, UFPB – Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Obede Borges Faria, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Brasil
Patrícia Freitas Nerbas, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
Patrícia Marins Farias, UFBA - Universidade Federal da Bahia, Brasil
Paola Egert Ortiz, UNISUL - Universidade do Sul de Santa Catarina, Brasil
Paulo Cesar Machado Ferroli, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Paulo Roberto Silva, UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
Paulo Roberto Wander, UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
Pedro Couto Moreira, URI - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil
Priscilla Ramalho Lepre, UFAL – Universidade Federal do Alagoas, Brasil
Rachel Faverzani Magnago, UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina, Brasil
Rejane Costa Alves, UFES - Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
Regis de Castro Ferreira, UFG - Universidade Federal de Goiás, Brasil
Renata De Vecchi, UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Renata Priore Lima, UNIP – Universidade Paulista, Brasil
Ricardo Villarroel Dávalos, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Rita de Cássia Gnutzmann Veiga, FURG - Universidade Federal de Rio Grande, Brasil
Rita de Castro Engler, UEMG – Universidade Estadual de Minas Gerais, Brasil
Roberio do Nascimento Coêlho, UFBA - Universidade Federal da Bahia, Brasil
Roberto Bologna, UniFI - Università Degli Studi di Firenze, Itália
Rodrigo Antunes, UF - University of Florida, Estados Unidos
Rogério Cattelan Antochaves Lima, UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
Rogerio José Camara, UnB - Universidade de Brasília, Brasil
Ronaldo Martins Glufke, UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
Rosiane Pereira Alves, UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
Sérgio Ivan dos Santos, UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa, Brasil
Sérgio Manuel Oliveira Tavares, UP – Universidade do Porto, Portugal
Sharmistha Banerjee, IIT - Indian Institute of Technology, Índia
Sílvia Kimo Costa, UFSB – Universidade Federal da Bahia, Brasil
Sílvio Bitencourt da Silva, UNISINOS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil
Sílvio Burattino Melhado, USP - Universidade de São Paulo, Brasil
Simone Grace de Barros, UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
Sofia Lima Bessa, UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
Sonia Regina Amorim Soares de Alcantara, UFC - Universidade Federal do Ceará, Brasil
Sydney Fernandes de Freitas, UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
Tarcisio Dorn de Oliveira, UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, Brasil.
Tomás Queiroz Ferreira Barata, FAUUSP – Universidade de São Paulo, Brasil
Trícia Caroline da Silva Santana, UFRSA – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Brasil
Uda Souza Fialho, UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Vanessa Casarin, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
Vicente de Paulo Santos Cerqueira, UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
Virginia Pereira Cavalcanti, UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
Viviane dos Guimarães Alvim Nunes, UFU - Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Walter Franklin M. Correia, UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
Wellington Gomes de Medeiros, UFCG - Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
Wilmar Ricardo Rugeles Joya, PUJ – Pontificia Universidade Javeriana, Colômbia

SOBRE O PERIÓDICO MIX SUSTENTÁVEL

O Periódico Mix Sustentável nasceu da premissa de que o projeto englobando os preceitos da sustentabilidade é a única solução possível para que ocorra a união entre a filosofia da melhoria contínua com a necessidade cada vez maior de preservação dos recursos naturais e incremento na qualidade de vida do homem. A sustentabilidade carece de uma discussão profunda para difundir pesquisas e ações da comunidade acadêmica, que tem criado tecnologias menos degradantes na dimensão ambiental; mais econômicas e que ajudam a demover injustiças sociais a muito estabelecidas. O periódico Mix Sustentável apresenta como proposta a publicação de resultados de pesquisas e projetos, de forma virtual e impressa, com enfoque no tema sustentabilidade. Buscando a troca de informações entre pesquisadores da área vinculados a programas de pós-graduação, abre espaço, ainda, para a divulgação de profissionais inseridos no mercado de trabalho, além de entrevistas com pesquisadores nacionais e estrangeiros. Além disso publica resumos de teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso defendidos, tendo em vista a importância da produção projetual e não apenas textual.

De cunho essencialmente interdisciplinar, a Mix tem como público-alvo pesquisadores e profissionais da Arquitetura e Urbanismo, Design e Engenharias. De acordo com a CAPES (2013), a área Interdisciplinar no contexto da pós-graduação, decorreu da necessidade de solucionar novos problemas que emergem no mundo contemporâneo, de diferentes naturezas e com variados níveis de complexidade, muitas vezes decorrentes do próprio avanço dos conhecimentos científicos e tecnológicos. A natureza complexa de tais problemas requer diálogos não só entre disciplinas próximas, dentro da mesma área do conhecimento, mas entre disciplinas de áreas diferentes, bem como entre saberes disciplinares e não disciplinares. Decorre daí a relevância de novas formas de produção de conhecimento e formação de recursos humanos, que assumam como objeto de investigação fenômenos que se colocam entre fronteiras disciplinares.

Desafios teóricos e metodológicos se apresentam para diferentes campos de saber. Novas formas de produção de conhecimento enriquecem e ampliam o campo das ciências pela exigência da incorporação de uma racionalidade mais ampla, que extrapola o pensamento estritamente disciplinar e sua metodologia de compartimentação e redução de objetos. Se o pensamento disciplinar, por um lado, confere avanços à ciência e tecnologia, por outro, os desdobramentos oriundos dos diversos campos do conhecimento são geradores de diferentes níveis de complexidade e requerem diálogos mais amplos, entre e além das disciplinas.

A Revista Mix Sustentável se insere, portanto, na Área Interdisciplinar (área 45), tendo como áreas do conhecimento secundárias a Arquitetura, Urbanismo e Design (área 29), a Engenharia Civil (área 10) e, ainda, as engenharias em geral.

CLASSIFICAÇÃO QUALIS

No quadriênio 2017-2020 a revista MIX Sustentável está classificada como A3 em todas as áreas de avaliação.

MISSÃO

Publicar resultados de pesquisas e projetos, de forma virtual e impressa, com enfoque no tema sustentabilidade, buscando a disseminação do conhecimento e a troca de informações entre acadêmicos, profissionais e pesquisadores da área vinculados a programas de pós-graduação.

OBJETIVO

Disseminar o conhecimento sobre sustentabilidade aplicada à projetos de engenharia, arquitetura e design.

POLÍTICAS DE SEÇÃO E SUBMISSÃO

A) Seção Científica

Contém artigos científicos para socializar a produção acadêmica buscando a valorização da pesquisa, do ensino e da extensão. Reúne 12 artigos científicos que apresentam o inter-relacionamento do tema sustentabilidade em projetos

de forma interdisciplinar, englobando as áreas do design, engenharia e arquitetura. As submissões são realizadas em fluxo contínuo em processo de revisão por pares. A revista é indexada em sumários.org e no google acadêmico.

B) Seção Resumo de Trabalhos de Conclusão de Curso de Graduação, Iniciação Científica e Pós-graduação

Tem como objetivo a divulgação de Teses, Dissertações e Trabalhos de Conclusão de Curso na forma de resumos expandidos e como forma de estimular a divulgação de trabalhos acadêmico-científicos voltados ao projeto para a sustentabilidade.

C) Seção Mercadológica

É um espaço para resenhas e entrevistas (espaços de diálogo). Apresenta pelo menos duas entrevistas com profissionais atuantes no mercado ou pesquisadores de renome, mostrando projetos práticos que tenham aplicações na esfera da sustentabilidade. Deverá ainda disponibilizar conversas com especialistas em sustentabilidade e/ou outros campos do saber. Todas os números possuem o Editorial, um espaço reservado para a apresentação das edições e comunicação com os editores.

PROCESSO DE AVALIAÇÃO PELOS PARES

A revista conta com um grupo de avaliadores especialistas no tema da sustentabilidade, doutores em suas áreas de atuação. São 211 revisores, oriundos de 67 instituições de ensino Brasileiras e 8 Instituições Internacionais. Os originais serão submetidos à avaliação e aprovação dos avaliadores (dupla e cega).

Os trabalhos são enviados para avaliação sem identificação de autoria. A avaliação consiste na emissão de pareceres, da seguinte forma:

- aprovado
- aprovado com modificações (a aprovação dependerá da realização das correções solicitadas)
- reprovado

PERIODICIDADE

Publicação quadrimestral com edições especiais. São publicadas três edições regulares ao ano. Conta ainda com pelo menos uma edição especial anual.

POLÍTICA DE ACESSO LIVRE

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratização mundial do conhecimento.

ARQUIVAMENTO

Esta revista utiliza o sistema LOCKSS para criar um sistema de arquivo distribuído entre as bibliotecas participantes e permite às mesmas criar arquivos permanentes da revista para a preservação e restauração.

ACESSO

O Acesso pode ser feito pelos endereços: <http://mixsustentavel.paginas.ufsc.br/> ou diretamente na plataforma SEER/OJS em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/>. É necessário acessar a página de cadastro, fazer o seu cadastro no sistema. Posteriormente o acesso é realizado por meio de login e senha, de forma obrigatória para a submissão de trabalhos, bem como para acompanhamento do processo editorial em curso.

DIRETRIZES PARA AUTORES

O template para submissão está disponível em:

<http://mixsustentavel.paginas.ufsc.br/submissoes/>. Todos os artigos devem ser submetidos sem a identificação dos autores para o processo de revisão.

CONDIÇÕES PARA SUBMISSÃO

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos

os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores. A contribuição deve ser original e inédita, e não estar sendo avaliada para publicação por outra revista; caso contrário, deve-se justificar em “Comentários ao editor”.

O arquivo da submissão deve estar em formato Microsoft Word, OpenOffice ou RTF.

As URLs para as referências devem ser informadas nas referências.

O texto deve estar em espaço simples; usar uma fonte de 12 pontos; empregar itálico em vez de sublinhado (exceto em endereços URL); as figuras e tabelas devem estar inseridas no texto, não no final do documento na forma de anexos.

Enviar separadamente todas as figuras e imagens em boa resolução.

O texto segue os padrões de estilo e requisitos bibliográficos descritos em Diretrizes para Autores e na página <http://mixsustentavel.paginas.ufsc.br/submissoes/>.

POLÍTICA DE PRIVACIDADE

Os nomes e endereços informados nesta revista serão usados exclusivamente para os serviços prestados por esta publicação, não sendo disponibilizados para outras finalidades ou a terceiros.

EDITORES, CONSELHO EDITORIAL E EQUIPE DE EDITORAÇÃO

Os editores são professores doutores da Universidade Federal de Santa Catarina e líderes do Grupo de Pesquisa VirtuHab. Estão ligados ao CTC – Centro Tecnológico, através do Departamento de Arquitetura e Urbanismo e Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ e ao CCE – Centro de Comunicação e Expressão, através do Departamento de Expressão Gráfica, Curso de Design.

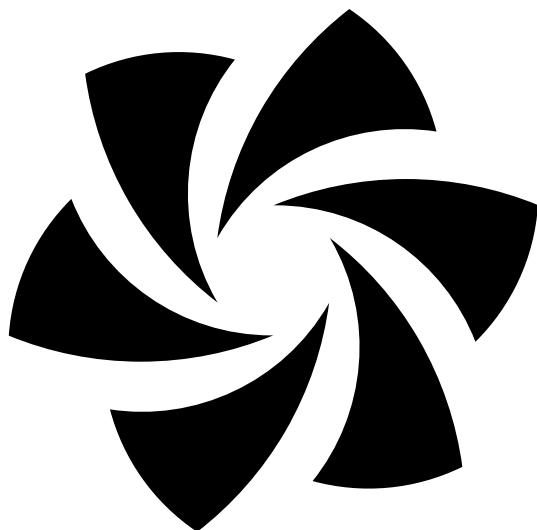
O Conselho Editorial atual é composto por Aguinaldo dos Santos, UFPR - Universidade Federal Do Paraná, Brasil; Amilton José Vieira de Arruda, UFPE - Universidade Federal De Pernambuco, Brasil; Carlo Franzato, UNISINOS - Universidade Do Vale Dos Sinos, Brasil; Helena Maria Coelho da Rocha Terreiro Galha Bártolo, IPL - INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA, Portugal; José Manuel Couceiro Barosa Correia Frade, IPE - Escola Superior De Artes E Design - Politécnico De Leiria, Portugal; Jorge Lino Alves, UP - INEGI - Universidade Do Porto, Portugal; Laia Haurie Ibarra – UPC – Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha; Lisiane Ilha Librelotto, UFSC - Universidade Federal De Santa Catarina, Brasil; Miguel Aloysio Sattler, UFRGS - Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Brasil; Paulo Cesar Machado Ferroli, UFSC - Universidade Federal De Santa Catarina, Brasil; Rachel Faverzani Magnago, UNISUL - Universidade Do Sul De Santa Catarina, Brasil; Roberto Bologna, UniFI - Università Degli Studi Di Firenze, Itália; Tomás Queiroz Ferreira Barata, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Brasil; Vicente de Paulo Santos Cerqueira, UFRJ - Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Brasil.

A editoração conta com o apoio de mestrandos e doutorandos do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ/ UFSC, membros do Grupo de Pesquisa Virtuhab. Os trabalhos gráficos são realizados por estudantes do curso de design da UFSC.

CRITÉRIOS DE COMPOSIÇÃO DA EDIÇÃO

O conselho editorial definiu um limite máximo de participação para autores pertencentes ao quadro da instituição editora. Esse limite não excederá, para qualquer edição, o percentual de trinta por cento (30%) de autores oriundos da UFSC. Assim, pelo menos setenta por cento dos autores serão externos a entidade editora.

ISSN 2447-0899
ISSNe 2447-3073



Mix Sustentável



FLORIANÓPOLIS
VIRTUHAB | CCE | CTC

COPYRIGHT INFORMATION/INFORMAÇÕES DE DIREITO AUTORAL

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial
Diretoria de Marcas, Desenhos Industriais e Indicações Geográficas

Certificado de registro de marca

Processo nº: 922895074

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial, para garantia da propriedade e do uso exclusivo, certifica que a marca abaixo reproduzida encontra-se registrada nos termos das normas legais e regularmente em vigor, mediante as seguintes características e condições:



Data de depósito: 10/05/2021
Data da concessão: 22/03/2022
Fim da vigência: 22/03/2032

Titular: PAULO CESAR MACHADO FERROLI [BR/SC] e LISIANE ILHA LIBRELOTTO [BR/SC]
CPF e CPF: 59550236072 e 93048971068
Endereço: Rua Castorina Lobo S.Thiago, 55 - Bairro Santa Mônica, 88035095 , Florianópolis, SANTA CATARINA, BRASIL e Rua Castorina Lobo S.Thiago, 55 - Bairro Santa Mônica, 88035095, Florianópolis, SANTA CATARINA, BRASIL

Apresentação: Mista
Natureza: Marca de Produto/Serviço
CFE(4): 26.13.25
NCL(11): 41
Especificação: Editoração eletrônica;Publicação on-line de livros e periódicos eletrônicos (da classe 41)



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial
Diretoria de Marcas, Desenhos Industriais e Indicações Geográficas

Certificado de registro de marca

Processo nº: 922895074

Rio de Janeiro, 22/03/2022

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Felipe Augusto Melo de Oliveira', is written over a large, faint watermark of the Brazilian coat of arms.

Felipe Augusto Melo de Oliveira
Diretor

SUMÁRIO

ARTIGOS

- 17** **SUSTENTABILIDADE DE CONCRETOS COM O USO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS** | *SUSTAINABILITY OF CONCRETE WITH THE USE OF ALTERNATIVE MATERIALS* | *SOSTENIBILIDAD DEL HORMIGÓN CON MATERIALES ALTERNATIVOS* | **Cristiane Carine dos Santos e Paulo Vinicius Fischer Martins**
- 29** **EFFECT OF RESIDENTIAL STOVE TECHNOLOGY ON GASEOUS EMISSIONS FROM BIOMASS COMBUSTION** | *EFEITO DA TECNOLOGIA DE FOGÕES RESIDENCIAIS NAS EMISSÕES GASOSAS DA COMBUSTÃO DA BIOMASSA* | *EFFECTO DE LA TECNOLOGÍA DE ESTUFA RESIDENCIAL EN LAS EMISIONES GASEOSAS DE LA COMBUSTIÓN DE BIOMASA* | **Matheus Poletto e Carlos Henrique Medina Guedes**
- 41** **DESIGN AND UNIVERSITY: A LOOK AT REGIONAL DIFFERENCES IN BRAZIL** | *DESIGN E UNIVERSIDADE: UM OLHAR PARA AS DIFERENÇAS REGIONAIS* | *FDISEÑO Y UNIVERSIDAD: UNA PERSPECTIVA SOBRE LAS DIFERENCIAS REGIONALES* | **Letícia Faria Teixeira e Altem Nascimento Pontes**
- 51** **ADDITIVE MANUFACTURING AND DISTRIBUTED RECYCLING: WASTE AS RAW MATERIAL IN THE DESIGN AND MANUFACTURE OF UTILITARIAN OBJECTS** | *MANUFATURA ADITIVA E RECICLAGEM DISTRIBUÍDA: O LIXO COMO MATÉRIA PRIMA NO DESIGN E FABRICAÇÃO DE OBJETOS UTILITÁRIOS* | *FABRICACIÓN ADITIVA Y RECICLAJE DISTRIBUIDO: LOS RESIDUOS COMO MATERIA PRIMA EN EL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE OBJETOS UTILITARIOS* | **João Victor Correia de Melo**
- 63** **CHALLENGES OF ENVIRONMENTAL MONITORING WITHIN THE INTEGRATED RECYCLING COMPLEX OF THE FEDERAL DISTRICT/DF** | *LOS RETOS DEL MONITOREO AMBIENTAL DEL COMPLEJO INTEGRADO DE RECICLAJE EN EL DISTRITO FEDERAL* | **Roberta Carolina Assunção Faria, Erondina Azevedo de Lima, Eduardo Jonathan Ramos e Silva Sampaio e Caio Frederico e Silva**
- 75** **LCA WITH UNCERTAINTY ANALYSIS: LITERATURE REVIEW AND POTENTIAL APPLICATION IN BRAZILIAN FEDERAL HIGHWAYS** | *ACV COM ANÁLISE DE INCERTEZAS: REVISÃO DA LITERATURA E POTENCIAL EMPREGO NAS RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS* | *ACV CON ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE: REVISIÓN DE LA LITERATURA Y POTENCIAL EMPLEO EN LAS CARRETERAS FEDERALES DE BRASIL* | **Bruno Vendramini dos Santos, Maruska Lima de Sousa Holanda, Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira e João Henrique da Silva Rêgo**
- 93** **ANALYSIS OF WATER AND ENERGY CONSUMPTION IN A VERTICAL GREEN RESIDENTIAL BUILDING IN THE AMAZON** | *ANÁLISE DO CONSUMO DE ÁGUA E ENERGIA DE UMA CONSTRUÇÃO VERDE RESIDENCIAL VERTICAL NA AMAZÔNIA* | *ANÁLISIS DEL CONSUMO DE AGUA Y ENERGÍA DE UNA EDIFICACIÓN RESIDENCIAL VERTICAL SOSTENIBLE EN LA AMAZONÍA* | **Raphael Santos de Magalhães, Wyllyam Bessa Santana, Luiz Maurício Furtado Maués e Gleyde Izabela Fernandes Chaves**
- 109** **NATURE-BASED SOLUTIONS (NBS) IN A SMART CITY IN SOUTHERN BRAZIL** | *SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA (SBN) EM UMA CIDADE INTELIGENTE NO SUL DO BRASIL* | *SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (SBN) EN UNA CIUDAD INTELIGENTE EN EL SUR DE BRASIL* | **Graziela Breitenbauch de Moura, Tatiane Silva Hrysyki e Joaquim Olinto Branco**

- 125** **INFLUENCE OF HIGH TEMPERATURES ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF IRON ORE TAILINGS/CEMENT COMPOSITE** | *INFLUÊNCIA DAS ALTAS TEMPERATURAS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO COMPÓSITO REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO/ CIMENTO* | *INFLUENCIA DE LAS ALTAS TEMPERATURAS EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL COMPUESTO DE RESIDUOS DE MINERAL DE HIERRO/CEMENTO* | Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco, Judy Norka Rodo Mantilla, Eliene Pires Carvalho, Marco Antônio Penido de Rezende, Rejane Costa Alves, Maria Teresa Gomes Barbosa e White José dos Santos
- 137** **PRODUÇÃO ARTESANAL DO ADOBE E COMPOSIÇÃO ORÇAMENTÁRIA NO EIXO ITABUNA-ILHÉUS-URUÇUCA, BAHIA** | *CRAFTED ADOBE PRODUCTION AND BUDGET COMPOSITION AT ITABUNA-ILHEUS-URUÇUCA AXIS, BAHIA* | *PRODUCCIÓN ARTESANAL DE ADOBE Y COMPOSICIÓN PRESUPUESTARIA EN ITABUNA-ILHÉUS-URUÇUCA, BAHIA* | Luiz Eduardo Souza da Silva e Silva Kimo Costa
- 151** **DESIGN, CRISE ECOLÓGICA E CONDIÇÕES DE PRESERVAÇÃO DE VIDA NA TERRA** | *THE SUSTAINABILITY'S PREMISE OF SYNTHETIC DIAMONDS* | *LA PREMISA DE SOSTENIBILIDAD DE LOS DIAMANTES SINTÉTICOS* | Paulina Helena Zanluchi Mior, Jocelise Jacques de Jacques e Lauren da Cunha Duarte
- 161** **BUILDING OCCUPANCY & THERMAL PERFORMANCE: A CASE STUDY IN DIFFERENT CLIMATE ZONES IN BRAZIL** | *USO DE EDIFICAÇÕES & CONFORTO TÉRMICO: ESTUDO DE CASO EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS* | *OCUPACIÓN DE EDIFICIOS Y DESEMPEÑO TÉRMICO: UN ESTUDIO DE CASO EN DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS EN BRASIL* | Paulo Eduardo Mezzomo da Silva, Andrea Parisi Kern e Maria Fernanda Oliveira
- 165** **ANÁLISE CRÍTICA DO PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE GUARULHOS/SP** | *CRITICAL ANALYSIS OF THE INTEGRATED SOLID WASTE MANAGEMENT PLAN OF THE MUNICIPALITY OF GUARULHOS/SP* | *ANÁLISIS CRÍTICO DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRADA DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE GUARULHOS/SP* | Ageu Camargo, Gabriel Sousa de Freitas, Márcio Magera Conceição e Fabrício Bau Dalmas
- 187** **UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS NOSSISTEMAS DE MACRODRENAGEM DACIDADE DO RECIFE-PE** | *USE OF MOBILE DEVICES IN MACRO DRAINAGE SYSTEMS IN THE CITY OF RECIFE-PE* | *USO DE DISPOSITIVOS MÓVILES EN LOS SISTEMAS DE MACRODRENAJEEN LA CIUDAD DE RECIFE-PE* | Damires Braz da Silva, Cintia Rafaela Lima dos Santos e Willames de Albuquerque Soares
- 199** **STREET AFFORDANCES: HUMAN-ENVIRONMENTINTERACTION IN THE DESIGN PROCESS OF URBAN SPACE** | *AFFORDANCE DA RUA: INTERAÇÃO HOMEM-AMBIENTE NO PROCESSO DE PROJETO DO ESPAÇO URBANO* | *STREET AFFORDANCE: INTERACCIÓN PERSONA-ENTORNO ENEL PROCESO DE DISEÑO URBANO* | Francis Graeff de Oliveira e Arnaldo Debatin Neto

GRADUAÇÃO, INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO

- 211** **DESIGN TOOL TO EVALUATE EXPERIENCES OF MATERIALS DEVELOPED WITH AMAZONIAN AGRO-INDUSTRIAL WASTE** | Lauro Arthur Farias Paiva Cohen e Eliane Ayres
- 213** **FEMINIST STRATEGIC DESIGN: A THEORETICAL-METHODOLOGICAL PROPOSAL OPERATED IN THE CONTEXT OF THE CITY** | Giulia Locatelli e Silva e Karine de Mello Freire
- 215** **DESIGN CIRCULAR PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS TÊXTEIS** | Maria Eloisa de Jesus Conceição, Jorge Roberto Lopes dos Santos e Cláudio Freitas de Magalhães

EDITORIAL

MIX SUSTENTÁVEL VOL. 10 N. 1 — EDIÇÃO REGULAR

CHUVA, GREVE, GUERRA...

Penso que se algum dia, no futuro, os historiadores estiverem debruçados sobre nossa época, tentando compreender o século XXI, encontrarão uma quantidade enorme de informações. Impressionados e confusos, eles irão se debater sobre os acontecimentos diversos que afetaram a nossa era e dificilmente poderão chegar a uma conclusão sobre qualquer assunto que seja.

Pense nisso nos três assuntos que mais impactaram o noticiário recente. A tragédia do Rio Grande do Sul vem claramente demonstrar que todos os avisos sobre a questão ambiental são verdadeiros e precisam ser levados a sério. A esperança é que somos uma espécie muito mais reativa do que preventiva. Em geral postergamos tudo que é possível: aquela goteira em nossa casa, o artigo que precisa ser escrito para enviar a um evento, o início da dieta, o corte da grama... então talvez agora, governantes, empresários e a própria sociedade levem o assunto da sustentabilidade mais a sério.

O segundo assunto é greve. Assunto sério, vulgarizado na atualidade. Tão sério que mereceu uma lei própria (LEI Nº 7.783 DE 28 DE JUNHO DE 1989), que afirma sobre deveres e direitos de grevistas e não grevistas. Contudo, o desrespeito pela individualidade mostra-se pleno, nos atos praticados de piquetes, barricadas, ofensas e ameaças. Atos praticados por indivíduos que clamam por democracia e paz, mas vivem a sua própria noção de ditadura e violência e pleiteiam seus direitos da mesma forma que nossos avós fizeram a dois séculos atrás.

Finalizando o terceiro assunto é a guerra. O que os pesquisadores do futuro vão pensar, quando constatarem que apesar de todo avanço tecnológico ainda resolvemos as nossas diferenças culturais, religiosas, ideológicas com armas, morte e destruição? Será que uma sociedade que consegue desenvolver armamentos suficientes para destruir o próprio planeta, dezenas de vezes, é realmente capaz de pensar em um “futuro comum”, como sonhado pelos idealizadores da UNCHE de 1972, que originou 12 anos depois o conceito de desenvolvimento sustentável?

No meio de tudo isso, para qualquer dos assuntos acima, o interessado em se informar encontrará diversas versões, tão antagônicas quanto o dia e a noite, o duro e o mole ou o pequeno e o grande. E pior... encontrará cada vez menos visões centrais a isso, ou que demonstrem um certo equilíbrio, em um mundo de cada vez mais extremos, onde até o clima resolveu aderir aos excessos, uma hora muito quente, outra hora muito frio, outra hora muita chuva, outra hora muita seca.

É neste ambiente que entregamos aos nossos leitores mais uma edição da Mix Sustentável, sentindo um incrível desconforto, pela insegurança em nosso local de trabalho, por perceber que parece que a política e seus partidos estão acima de qualquer possibilidade de sentarmos e analisarmos uma situação para resolver problemas sem esperar que alguém os resolva por nós. Um desconforto maior ainda ao considerar que meio milhão de pessoas estão sem suas casas, passando frio e fome, sem nada, além da roupa do corpo e algumas doações.

A presente edição começa com um artigo que buscou analisar e comparar o potencial do uso da cinza de casca de arroz e da sílica de casca de arroz como material de substituição parcial do cimento e também a redução do mesmo em diferentes traços de concreto. É assinado por pesquisadores da UFSM e da URI.

O segundo artigo, também do Sul do país, da UCS, apresenta um estudo sobre as emissões gasosas de dois fogões a lenha residenciais.

O artigo 3, proveniente da UEPA, tem como proposta analisar a presença do design em instituições públicas de ensino na região amazônica quando comparadas a outras regiões do país e para isso apresenta um mapeamento dos cursos de graduação e pós-graduação em design e um levantamento para identificar grupos de pesquisa.

Da PUC-Rio, um artigo que estuda o lixo como matéria-prima no design. Aborda o estudo de um sistema de manufatura aditiva alinhado à reciclagem distribuída considerando seus impactos, vantagens, desvantagens e possibilidades de aplicação no cenário brasileiro.

O artigo 5 da UnB, é focado no Complexo Integrado de Reciclagem do DF, o os autores apontam os desafios relacionados ao conforto ambiental interno dos galpões, o que pode ser melhorado aplicando estratégias para a renovação do ar mais adequadas ao local.

Também da UnB, o sexto artigo da edição apresenta uma Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) em projetos rodoviários, combinando-a com técnicas de análise de incertezas.

Com pesquisadores da UFPA e do IFPA, o artigo 7 da edição apresenta um estudo voltado as certificações ambientais, que se apresentam como uma possibilidade de ganho de eficiência na construção civil. O trabalho buscou avaliar a eficiência energética e hídrica de uma construção verde multifamiliar residencial vertical localizada em Belém, na Amazônia brasileira.

O artigo 8 apresenta uma abordagem em cidades inteligentes. Escrita por pesquisadores da UNIVALI, o artigo mostra que o incremento de políticas públicas voltadas ao ambiente e ecossistemas traz resultados para que a gestão possa além da fiscalização, ser participativa e socializadora, mediando movimentos e ações sustentáveis junto à sociedade civil e ao setor privado.

O nono artigo vem de Minas Gerais, com uma reunião de pesquisadores da UFMG, FEMEC, CEFET e UFJF, além de contribuições da UFES. Aborda de forma técnica a influência das altas temperaturas na resistência à compressão de um compósito obtido pelo rejeito de minério de ferro e cimento.

Da UFSB, o décimo artigo da edição mostra os resultados da pesquisa que objetivou analisar o processo de fabricação do adobe na área de abrangência do eixo Itabuna – Ilhéus – Uruçuca, municípios localizados no Litoral Sul do Estado da Bahia, considerando os custos associados à sua manufatura (composição orçamentária).

O artigo 11 é assinado pela equipe da UFRGS, e analisa se o diamante sintético pode ser considerável como um produto amigável ao meio-ambiente. Os autores concluem que o principal obstáculo a isso no momento deve-se à carência de transparência do seu processo produtivo e divulgação de pesquisas acadêmicas relacionadas ao tema.

O décimo segundo artigo vem de uma parceria entre UNISINOS e UNICAMP, onde os pesquisadores chegam a conclusão de que é necessária atualização da normatização para adequação a novas realidades de ocupação residencial e sugerem que as definições de projeto devem ser específicas para cada clima a fim de melhorar o conforto térmico das residências e ao mesmo tempo potencializar a eficiência energéticas das edificações.

O artigo 13 trata sobre um tema muito relevante: consumo sustentável na sociedade atual, considerado como de suma importância para a melhora na qualidade de vida e para a sobrevivência das gerações futuras. É assinado por pesquisadores da Universidade de Guarulhos.

O décimo quarto artigo, da UPE, relata o assunto mais discutido atualmente, devido a tragédia climática do RS. Os resultados obtidos mostram que a remoção de mais de setecentos mil quilogramas de detritos, que obstruíam o principal sistema de drenagem, é essencial para evitar maiores transtornos às populações das planícies urbanas, associados ainda às doenças de veiculação hídrica e a poluição das águas urbanas. Vem para mostrar que embora geograficamente distante do ocorrido no RS, o problema parece ser bastante comum no nosso país.

Finalizando, pesquisadores da UFSC apresentam um artigo relacionado ao tema da mobilidade urbana, outro ponto cada vez mais comum, especialmente nas grandes cidades. A Teoria da Affordance foi a utilizada na pesquisa, e fornece uma compreensão da interação transacional da pessoa com o ambiente, objetivando alcançar o design integral da rua.

A edição ainda traz dois resumos de dissertações e um resumo de tese, além da entrevista com a professora Raquel Gomes Noronha, que mostra um pouco de sua trajetória no campo da sustentabilidade, além da expectativa de organizar em 2025 o SDS – Simpósio de Design Sustentável.

Desejamos a todos (as) uma excelente leitura,

Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli – editores.

SUSTENTABILIDADE DE CONCRETOS COM O USO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS

SUSTAINABILITY OF CONCRETE WITH THE USE OF ALTERNATIVE MATERIALS

SOSTENIBILIDAD DEL HORMIGÓN CON MATERIALES ALTERNATIVOS

CRISTIANE CARINE DOS SANTOS, Dra. | UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

PAULO VINICIUS FISCHER MARTINS | URI - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil

RESUMO

O presente trabalho buscou analisar e comparar o potencial do uso da cinza de casca de arroz (CCA) e da sílica de casca de arroz (SCA) em misturas separadas, como material de substituição parcial do cimento e também a redução do mesmo em diferentes traços de concreto. Para tanto, produziu-se um traço referência, e a partir dele realizaram-se as substituições e reduções parciais de cimento em diferentes teores. As análises permitiram identificar qual das duas pozolanas estudadas apresentou o melhor desempenho quanto a resistência à compressão axial, absorção de água, índice de vazios, massa específica e abatimento do concreto. O estudo mostrou que quanto maior for o índice de substituição de cimento por alguma das pozolanas maior será a consistência adquirida pelo concreto, perdendo a fluidez. As misturas apresentaram-se com pouca diferença entre si quanto ao índice de vazios, massa específica e absorção de água. A mistura que atingiu a maior resistência à compressão axial foi o S2 (10% de SCA), aos 91 dias de idade, com 25,23% de resistência a mais que o concreto referência, sendo considerada a mistura com melhor desempenho. A mistura S6 (10% de SCA+10% de redução) foi a que mais conseguiu-se substituir e reduzir a quantidade de cimento mantendo assim praticamente as mesmas características que o traço referência. O estudo mostra que os traços com SCA tiveram resultados superiores aos traços com CCA, também, que é viável a substituição parcial do cimento por qualquer um dos dois tipos de pozolanas estudadas, aumentando a resistência a compressão axial do concreto, conseguindo benefícios técnicos e economia financeira, uma vez que diminui o consumo de cimento e consegue-se dar um fim adequado a esses resíduos.

PALAVRAS-CHAVE

Cinza de casca de arroz; sílica de casca de arroz; concreto.

ABSTRACT

The aim of the present work was to analyze and compare the potential of the use of rice husk ash (CCA) and rice husk silica (SCA) in separate mixtures, as a partial replacement material for the cement and also the reduction of the same in different traces of concrete. In order to do so, a reference trait was produced, and from this the substitutions and partial reductions of cement were carried out at different levels. The analyzes allowed to identify which of the two pozzolans studied presented the best performance regarding the axial compressive strength, water absorption, voids index, specific mass and concrete abatement. The study showed that the higher the cement substitution rate for some of the pozzolans, the greater the consistency acquired by the concrete, losing its fluidity. The mixtures presented little difference between them in the voids index, specific mass and water absorption. The mixture that achieved the highest axial compressive strength was S2 (10% SCA), at 91 days of age, with 25.23% more resistance than the reference concrete. However, the S6 blend (10% SCA + 10% reduction) was most successfully replaced and reduced the amount of cement thus practically maintaining the same characteristics as the reference trace. The study shows that the traces with SCA had superior results to the traces with CCA, also, that it is feasible the partial replacement of the cement by any of the two types of pozzolans studied, increasing the resistance to axial compression of the concrete, obtaining



technical benefits and economy because it reduces the consumption of cement and an adequate end to these wastes is achieved.

KEYWORDS

Rice husk ash; rice husk silica; concrete.

RESUMEN

El presente trabajo buscó analizar y comparar el potencial del uso de ceniza de cáscara de arroz (CCA) y sílice de cáscara de arroz (SCA) en mezclas separadas, como material de reemplazo parcial del cemento y también su reducción en distintas trazas de concreto. Para ello se elaboró una mezcla de referencia, y con base en ella se realizaron sustituciones y reducciones parciales de cemento en diferentes niveles. Los análisis permitieron identificar cuál de las dos puzolanas estudiadas presentó el mejor desempeño en términos de resistencia a la compresión axial, absorción de agua, índice de huecos, masa específica y asentamiento del concreto. El estudio demostró que cuanto mayor es la tasa de sustitución del cemento por una de las puzolanas, mayor es la consistencia que adquiere el hormigón, perdiendo su fluidez. Las mezclas mostraron poca diferencia entre ellas en términos de contenido de huecos, masa específica y absorción de agua. La mezcla que logró mayor resistencia a la compresión axial fue la S2 (10% SCA), a los 91 días de edad, con un 25,23% más de resistencia que el concreto de referencia, considerándose la mezcla de mejor desempeño.

PALABRAS CLAVE

Ceniza de cáscara de arroz; sílice de cáscara de arroz; hormigón.

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é um dos que mais consome matéria prima, causando degradação ambiental e não gerando o desenvolvimento sustentável do ambiente construído. Em contrapartida, as vendas de cimento no país atingiram 64,9 milhões de toneladas no ano de 2021, conforme dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2021). Essa produção excessiva causa muitos impactos ambientais, principalmente pela liberação de grandes quantidades de dióxido de carbono na atmosfera.

Segundo (SNIC, 2021) o cimento é o produto de uma atividade industrial integrada, obtido a partir da lavra e do beneficiamento de calcário e argila: sua industrialização ocorre mediante moagem, homogeneização e produção da farinha (mistura crua) e posterior processamento físico-químico em clínquer (cimento não pulverizado) e respectiva moagem.

A média mundial de produção de dióxido de carbono (CO₂) na produção do cimento é de 633 kg de CO₂ por tonelada. No Brasil para cada tonelada de cimento produzida é liberado na atmosfera 564 kg de CO₂ (SNIC, 2021).

Para garantir a qualidade do meio ambiente, muitas alternativas têm sido criadas, Pádua (2011) enfatiza que as pesquisas voltadas a utilização de resíduos sólidos derivados da agricultura para a produção de argamassas e concretos tornam-se cada vez mais intensas.

Souza (2008) utilizou a cinza da casca do arroz para substituir parte do cimento na confecção de argamassas, esperando que o resultado melhorasse as propriedades físicas e mecânicas. Em seu estudo as argamassas ensaiadas com CCA tiveram o comportamento mecânico superior às argamassas convencionais, ou seja, sem cinza de casca de arroz.

Pensando nesta proposta ambiental, o presente trabalho visa comparar algumas propriedades mecânicas do concreto convencional com as do concreto com substituições parciais de cimento pela cinza de casca de arroz (CCA) e pela sílica de casca de arroz (SCA), e também com a redução parcial do cimento. Observando o comportamento do mesmo quanto às alterações nas propriedades mecânicas como a resistência à compressão axial e o índice de absorção de água de cada traço, para definir qual mistura de concreto terá o melhor desempenho.

2. A UTILIZAÇÃO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ E SÍLICA DE CASCA DE ARROZ

2.1 Destino das cinzas de casca de arroz

De acordo com Santos (2006), a cinza de casca de arroz

origina-se da queima da casca de arroz pela produção de energia calorífica empregada, na secagem e parboilização dos grãos, nas beneficiadoras do cereal ou no processo de geração de outras formas de energia, como, em usinas termelétricas, energia elétrica, ou ainda, de processos de calcinação para obtenção de sílica com alto teor de pureza. Segundo Pouey (2006), a quantidade de cinza de casca de arroz gerada com a queima corresponde a 20% do volume da casca de arroz. A destinação desse resíduo são os aterros sanitários.

Para a diminuição e redução de resíduos destinados a aterros sanitários a Lei Federal 12.305/2010 criou uma política nacional de resíduos onde deve ser seguida uma ordem no que diz respeito à produção dos mesmos, com a finalidade de evitar ao máximo a geração de resíduo, assim, somente será destinado a aterros sanitários o produto que não tem viabilidade econômica, seguindo a ordem hierárquica de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e então disposição final.

Visando a diminuição do resíduo a ser destinado a aterros sanitários surgiram estudos para a utilização da CCA na substituição parcial do cimento na composição de concretos e argamassas, devido a mesma conter um elevado teor de sílica. A sílica é uma combinação de silício e oxigênio na forma SiO₂. A cinza da casca de arroz pode conter até 15% em peso de carbono. Se o aquecimento for promovido com a finalidade de eliminar este carbono residual, pode-se obter aproximadamente 95% de sílica pura com uma área superficial específica de 10 m²/g e partículas com um tamanho em torno de 20 μm gerando, assim, um produto com maior valor agregado (FOLETTI, 2005).

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (2018), em média, a produção do cimento mundial gera cerca de 800 kg de CO₂ por tonelada de cimento produzido, logo a pequena parcela de cimento que possa ser substituída por CCA vem ao encontro com as razões ecológicas diminuindo a degradação do meio.

2.2 A CCA e a SCA como substituição parcial ao cimento

Segundo Mehta e Monteiro (2014), o concreto tem três motivos que o tornam fundamental na engenharia. O primeiro é o fato de conseguir moldar o concreto em diversas formas. O concreto fresco possui plasticidade e é possível moldá-lo em diferentes moldes. Em poucas horas o concreto cura, tornando uma massa rígida e podendo retirar as fôrmas. O segundo é a resistência do concreto à

água, pois ao contrário de madeiras e aço, por exemplo, o concreto não deteriora em contato com a mesma. O terceiro motivo para o uso de concreto é a facilidade com que é disponível na obra.

Materiais pozolânicos são materiais silicosos ou silico aluminosos que, sozinhos, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas, quando moídos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio para formar compostos com propriedades aglomerantes. As pozolanas podem ser naturais ou artificiais, como, cinzas volantes e argilas calcinadas. Esses materiais têm três classificações: Classe N, pozolanas naturais e artificiais, como certos materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido, terras diatomáceas e argilas calcinadas; Classe C, Cinza volante produzida pela queima de carvão mineral em usinas termoelétricas; Classe E, pozolanas que não se enquadram nas classes anteriores, como a CCA. A norma que rege essas classes é a NBR 12653: 2015 – Materiais pozolânicos – Requisitos (ABNT 2015).

As adições minerais no concreto são de muita importância e trazem efeitos benéficos devido à redução da porosidade das pastas, isto é, tamponam os poros capilares, distribuem de forma mais homogênea os produtos de hidratação do cimento em relação ao concreto convencional (MEHTA e MONTEIRO, 2014). A redução da porosidade proporciona uma característica fundamental ao concreto, uma vez que o mesmo adquire característica de menor permeabilidade a fluidos, isto está relacionado com as alterações físicas (fíler) e químicas (pozolanas) do processo de hidratação dos aglomerantes.

Com o elevado consumo de cimento para a produção do concreto, vem sendo estudado o aproveitamento de cinzas de casca de arroz como adições minerais. Essas cinzas possuem propriedades pozolânicas, quando moídas e em presença de umidade, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio gerando compostos mais densos e menos solúveis (FOLETTTO, 2005).

A CCA é uma pozolana que melhora tanto pelo efeito fíler quanto pelo efeito pozolânico algumas propriedades de argamassas e concretos. As principais reações químicas são com o hidróxido de cálcio (CH), onde reage quimicamente e precipita na forma de Silicato de Cálcio Hidratado (C-S-H), ou seja, modifica-se de material pouco resistente para um material muito resistente e aderente. Com esta reação, é possível produzir um concreto mais econômico, com baixo calor de hidratação, mais resistentes com baixa porosidade e com resistividade elétrica maior, mais durável frente a vários meios agressivos (SILVA, 2006).

Através da queima da casca de arroz com temperatura

controlada origina-se a sílica de casca de arroz, que possui propriedades físicas e químicas diferentes da CCA. A temperatura de queima é o que determina a reatividade da CCA, pois, através dela será definido o teor de sílica amorfa. Quanto maior a temperatura e o tempo de exposição a ela, menos reativa será a cinza obtida. (WEBER 2001). Para a obtenção da sílica, com a CA, além da simples combustão, a sílica pode ser obtida através do processo de tratamentos físico-químicos da casca de arroz (POUEY, 2006).

A introdução de CCA para a produção de concretos e argamassas não prejudica propriedades importantes de funcionalidades como: tempos de início e fim de pega, expansibilidade e retração por secagem (AKASAKI et al., 2005).

No estudo de Dalcin (2016), pode-se concluir que no que tange à reologia no estado fresco foi possível observar que com o aumento da substituição de cimento por cinza de casca de arroz houve piora das características de fluidez e habilidade passante do concreto, porém, conseguiu-se manter as características de concreto auto adensável, isso se deu pelo fato de aumentar a coesão e a viscosidade do concreto no estado fresco quando comparado ao concreto de referência.

Já Tiboni (2007) estudou a confecção de concretos com adição parcial de cinzas de casca de arroz oriundas das termelétricas da indústria de beneficiamento do arroz como adição mineral em concretos duráveis. O resultado obtido com o uso da cinza de casca de arroz para substituir parte do cimento mostrou-se viável, além de ser ecologicamente correto.

Segundo Silva (2004) o uso de CCA em concretos e argamassas mostram aumentos significativos na resistência à compressão axial, para dosagens de 5 e 10% de CCA. Onde se conseguiu um ganho de resistência de 24% para concreto e de 28% para argamassas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido através de pesquisas bibliográficas e ensaios laboratoriais. Nas pesquisas bibliográficas foram buscados materiais publicados sobre assuntos que tratavam da sustentabilidade e viabilidade de concretos com substituição do cimento por algum tipo de material pozolânico. Com as atividades em laboratório averiguou-se a melhor dosagem do concreto para as propriedades analisadas quando se utiliza CCA e/ou SCA como substituintes parciais do cimento.

A pesquisa ocorreu no Laboratório de Materiais e Construção Civil da URI – Universidade Regional Integrada, Câmpus de Frederico Westphalen.

3.1 Caracterização dos materiais utilizados

3.1.1 Caracterização dos agregados

O agregado graúdo empregado na pesquisa foi a brita basáltica, onde segundo a NBR NM 248:2003 Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro 2003, é classificada como brita 1 (um). E o agregado miúdo, uma areia quartzosa bem graduada, encontrando-se na zona utilizável – limite inferior.

3.1.2 Determinação da massa específica aparente e massa unitária dos agregados

A massa específica é a densidade do agregado sem nenhum vazio, ou seja, não inclui poros permeáveis e não possui espaços entre os grãos. A massa específica se dá pela divisão da massa pelo volume. Já a massa específica aparente é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis à água (NBR NM 53,2009).

A ABNT NBR NM 53:2009 – Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água, recomenda o ensaio para os agregados graúdos e a ABNT NBR NM 52:2009 – Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente para agregados miúdos.

A determinação da massa unitária de agregado se dá pela razão entre a massa de um agregado lançado em um recipiente e o volume deste recipiente. A massa unitária tem grande importância, pois é por meio dela, que se podem transformar as composições das argamassas e concretos dadas em peso para o volume e vice-versa. A NBR NM 45:2006 – Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios é quem rege esse ensaio. A Tabela 01 a seguir mostra o resultado da caracterização física dos agregados.

Características Físicas	Agregados	
	Miúdo	Graúdo
Massa específica	2.59 g/cm ³	2.90 g/cm ³
Absorção de água	--	0.47%
Massa Unitária	1.68 g/cm ³	1.76 g/cm ³

Tabela 01: Características físicas dos agregados.
Fonte: autores.

3.2 Materiais cimentícios

O cimento utilizado foi o CP V-ARI da empresa ITAMBÉ, esse cimento Portland tem um grau de moagem elevado que proporciona uma reatividade em baixas idades e uma alta resistência inicial. Escolheu-se este tipo de cimento devido à ausência de adições minerais em sua composição, permitindo uma melhor análise da influência das pozolanas estudadas nas misturas de concreto. As características químicas do material estão disponíveis na página virtual da empresa, e foram adaptadas na Tabela 02.

COMPOSIÇÃO	MÉDIA
AL2O3	4,3%
SiO2	18,96%
FeO3	2,95%
CaO	60,76%
MgO	3,26%
SO3	3,18%
Perda ao fogo	3,45%
CaO Livre	0,75%
Resíduos insolúveis	0,72%
Equiv. Alcal.	0,68%

Tabela 02: Composição química do cimento Portland CPV-ARI.
Fonte: autores.

A CCA que foi utilizada é um resíduo originado da Usina Termelétrica da CAAL (Cooperativa Agroindustrial Alegrete LTDA) onde está projetada para gerar até 3,8 MWh através do consumo médio de 81t/dia de casca de arroz. São geradas diariamente cerca de 10 toneladas de cinzas. As cinzas que resultam da combustão da casca de arroz apresentam uma composição baseada em 96% de sílica, podendo esta apresentar diferentes formas cristalinas ou amorfas.

A caracterização química da pozolana foi realizada no laboratório ECONSULTING (Laboratório de Gestão Ambiental e Higiene Ocupacional) no ano de 2015. Os dados são apresentados na Tabela 03.

PAR METROS	RESULTADOS
Matéria orgânica	9.90%
Cinzas	89.60%
Umidade	0.50%
pH	8.89

Tabela 03: Propriedades químicas da cinza de casca de arroz.
Fonte: autores.

Conforme a classificação do resíduo pela NBR 10004: 2004 - Resíduos sólidos – Classificação, a amostra foi

definida como sendo resíduo não inerte Classe IIA.

A Sílica utilizada é proveniente da queima controlada da casca de arroz em sistema de combustão via leito fluidizado pela SILCCA NOBRE, sílica da casca de arroz da cidade de Alegrete RS. A Tabela 04 apresenta os dados obtidos em relação às propriedades físico-química deste material.

PARÂMETROS	RESULTADOS
Diâmetro Médio	<8,0 µm
pH	< 10,0
Perda ao Fogo	< 3,5%
Densidade aparente	550-600Kg/m ³
Área específica B.E.T.	20.000 m ² /Kg
Umidade	< 3%
Teor de sílica Amorfa	> 95%
Massa específica	2,16 g/cm ³
Coloração	Cinza Claro

Tabela 04: Propriedades físico-química da sílica de casca de arroz.
Fonte: autores.

A SCA apresenta um elevado teor de sílica onde é classificado como sendo uma pozolana classe E, possui um teor de sílica amorfa maior que 95%, superior ao mínimo de 50% exigido para ser uma pozolana. Apresenta uma perda ao fogo menor de 3,5%, inferior ao limite máximo exigido pela norma ABNT NBR 12653: 2015 - Materiais pozolânicos - Requisitos.

3.3 Dosagem do concreto e misturas

Foi elaborado um traço de concreto referência calculado em massa e tomado como base a sua resistência à compressão axial e absorção de água, para ser comparado com as demais misturas estudadas. Os traços com substituição e redução de cimento por CCA e SCA seguiram as dosagens como demonstra a Tabela 05.

TR/ Traço Referência	Redução de cimento	Substituição CCA		Substituição SCA	
		5%	10%	5%	10%
	0%	C1	C2	S1	S2
	5%	C3	C4	S3	S4
	10%	C5	C6	S5	S6

Tabela 05: Percentuais de substituição de CCA e SCA.
Fonte: autores.

Para a produção das diferentes misturas de concreto manteve-se a mesma relação água/materiais cimentícios do concreto referência, essa relação foi definida através do ensaio de abatimento quando o mesmo atingiu 87 mm. Considerando que o tempo de mistura influencia diretamente no abatimento do concreto com substituição parcial de CCA ou SCA, registrou-se o tempo de mistura em betoneira do traço referência e manteve-se o mesmo tempo de mistura para os demais traços em análise.

A dosagem do concreto referência foi de modo empírico na relação 1:5, onde para cada uma unidade em massa de cimento utilizou-se 5 unidades em massa de agregados.

Para que o concreto tenha uma boa trabalhabilidade e consiga ser lançado e adensado adequadamente sem a segregação do agregado graúdo é preciso um teor ideal de argamassa. O teor de argamassa utilizado foi de 55%, ou seja, 55% da massa total da mistura (cimento, agregado miúdo e graúdo).

Assim, definiu-se o traço referência, em massa de 1: 2,3: 2,7; 0,49 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: relação água/materiais cimentícios). A composição dos demais traços está representada na Tabela 06.

Nomenclatura de cada traço	Traço unitário	
	Cimento: Pozolana: Areia: Brita: Água	
T.R	1: 0: 2,3: 2,7: 0,49	
CCA	C1	0,95: 0,05: 2,3: 2,7: 0,49
	C2	0,90: 0,10: 2,3: 2,7: 0,49
	C3	0,90: 0,05: 2,3: 2,7: 0,49
	C4	0,85: 0,10: 2,3: 2,7: 0,49
	C5	0,85: 0,05: 2,3: 2,7: 0,49
	C6	0,80: 0,10: 2,3: 2,7: 0,49
SCA	S1	0,95: 0,05: 2,3: 2,7: 0,49
	S2	0,90: 0,10: 2,3: 2,7: 0,49
	S3	0,90: 0,05: 2,3: 2,7: 0,49
	S4	0,85: 0,10: 2,3: 2,7: 0,49
	S5	0,85: 0,05: 2,3: 2,7: 0,49
	S6	0,80: 0,10: 2,3: 2,7: 0,49

Tabela 06: Composição dos traços em massa a serem analisados.
Fonte: autores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaio de Consistência do concreto

A Figura 01 a seguir mostra o resultado do ensaio de consistência pelo abatimento de tronco de cone realizados em todos os traços.

A partir dos ensaios de abatimento do tronco de

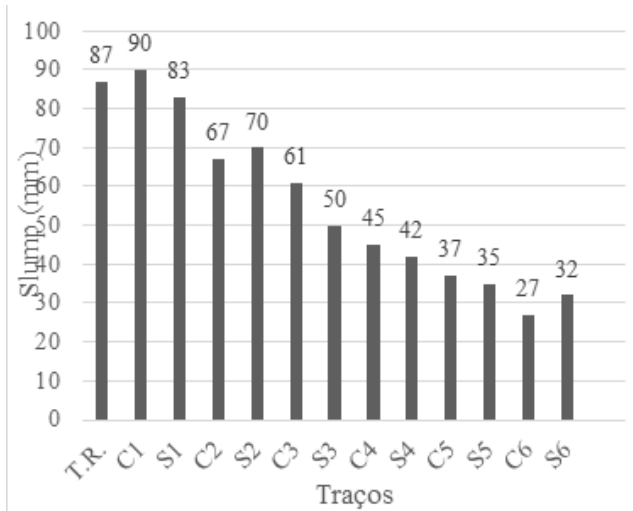


Figura 01: Consistência pelo abatimento de tronco de cone.
Fonte: autores.

cone verifica-se que tanto com a substituição das pozolanas quanto com a redução do cimento nos traços em análise fez com que o concreto perdesse fluidez e ganhasse viscosidade, os traços apresentaram-se com aumento da consistência, assim diminuindo os valores de ensaio. O traço C1 foi o que teve o maior abatimento, com um ganho de 3,45% no abatimento quando comparado com o T.R. Já o traço C6 foi o que apresentou menos abatimento quando comparado com o T.R. teve uma perda de 68,96 % em seu abatimento. Dalcin (2016), já tinha previsto em estudo que quanto maior a substituição de cimento por alguma das pozolanas os traços tornam-se mais denso, devido as pozolanas absorverem mais água que o cimento e também pela redução da porção do mesmo.

No estudo de Cordeiro et al (2009) onde analisou a influência da CCA em diferentes proporções em concretos convencionais e em concretos de alta resistência obteve uma redução dos valores de ensaio de abatimento em todos os traços em análise. Cordeiro et al (2009) atribui essa redução do abatimento devido a CCA ter elevada área superficial, necessitando assim de mais água para envolver a partícula.

As Figuras 02 e 03 mostram a diferença de abatimento de tronco de cone entre o T.R. e o C6, traço que obteve-se o menor valor de ensaio.

4.2 Ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica

Foram feitos os ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica como recomenda a NBR 9778:2009 Argamassa e concreto endurecidos



Figura 02: Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone do T.R.
Fonte: autores.



Figura 03: Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone do C6.
Fonte: autores.

- Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. A Figura 04 mostra os valores obtidos com o ensaio de absorção de água.

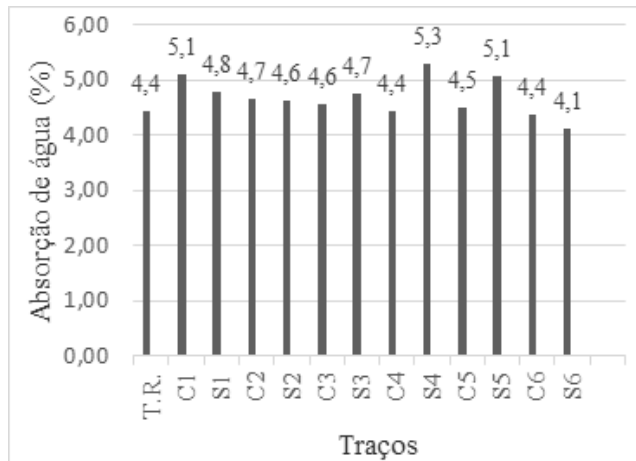


Figura 04: Ensaio de Absorção de água.
Fonte: autores.

A partir do ensaio de absorção de água conseguiu-se analisar que com exceção dos traços C4 e S6, os demais traços tiveram um aumento no teor de absorção de água. O traço C4 manteve-se no mesmo teor de absorção de água do T.R. e o S6 mostrou-se com uma redução na absorção de água. O traço S4 foi o que mais absorveu água comparado com o T.R. teve um aumento de 19,37 % na absorção de água. O traço S6 foi o que menos absorveu água comparado com o T.R. teve absorção de água 7,43 % a menos que o T.R. Na média geral os traços tiveram um aumento de absorção de água de 5,74 %.

O fato de ocorrer um aumento na absorção de água segundo Bezerra et al (2011), provavelmente, se deve a grande quantidade de agregado miúdo na constituição dos traços, favorecendo um índice maior de vazios, já que também teve redução na porção de cimento.

Nascimento (2002), analisando concretos com substituição de 5 % e 10 % de CCA, curados em câmara úmida por 91 dias, constatou que, os valores de absorção são ligeiramente superiores aos valores dos concretos de referência.

No estudo de Oldra (2015), onde estudou traços com 3, 5 e 10 % de substituição de cimento por CCA e avaliou o índice de vazios, massa específica e absorção de água dos traços aos 28, 56 e 90 dias de idade, pode concluir que aos 28 dias de idade a absorção de água do traço com 10% de substituição de cimento por CCA era maior que ao seu traço referência. Já aos 90 dias de idade todas as suas amostras encontravam-se com absorção de água menor ao seu traço referência. Segundo Oldra (2015) isso se justifica pelo fato da pozolana levar mais tempo para reagir quimicamente e ao final de 90 dias adquirir uma mistura mais densa tornando-a menos porosa.

Os ensaios de índice de vazios estão representados na Figura 05.

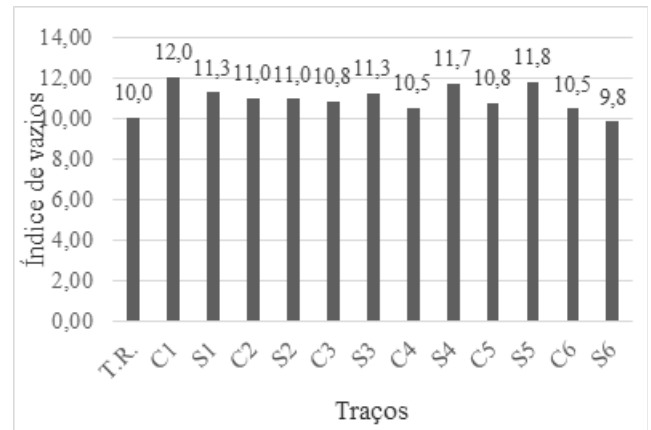


Figura 05: Índice de vazios.
Fonte: autores.

Analisando os ensaios de índice de vazios de cada traço pode-se observar que o traço S6 teve uma redução de vazios comparado com o T.R., porém, os demais traços mostram-se com um teor maior de vazios que o T.R. O S6 teve uma redução de 1,80% de vazios quando comparado com o T.R., o traço C1 foi o que mais apresentou vazios, teve um aumento de 20,16% de vazios quando comparado com o T.R. Em média obteve-se um aumento nos vazios de 10,32% comparado com o T.R.

Como citado anteriormente, para Bezerra et al (2011) a redução na porção de cimento e consequentemente a maior quantidade de agregado miúdo na constituição dos traços favorecem um maior índice de vazios. Oldra (2015), em estudo de concretos com substituição parcial de cimento por CCA mostra que aos 28 dias de idade a sua mistura com 10 % de substituição de cimento por CCA apresentou índices de vazios maiores que o traço referência, já aos 90 dias todos os seus traços com substituição tiveram menor índices de vazios que o traço referência, devido a CCA ter reação química diferente a do cimento. O autor ainda afirma que o tempo de cura do concreto influencia no índice de vazios e na absorção de água do mesmo, quanto maior o tempo de cura, menor o índice de vazios e menor a absorção de água.

Os resultados dos ensaios de massa específicas estão representados na Figura 06 a seguir.

Comparando os ensaios de massa específica de cada traço pode-se observar que apenas o traço S4 manteve-se com a mesma característica que o T.R., ou seja, 2,51 g/cm³, os demais tiveram um aumento médio de 5,97% nas suas massas específicas quando comparadas com o T.R. Os valores obtidos podem ser justificados pelo fato das adições minerais agirem na mistura tornando-a mais densa (BEZERRA et al., 2011).

Entre os dois primeiros ensaios índice de vazios e

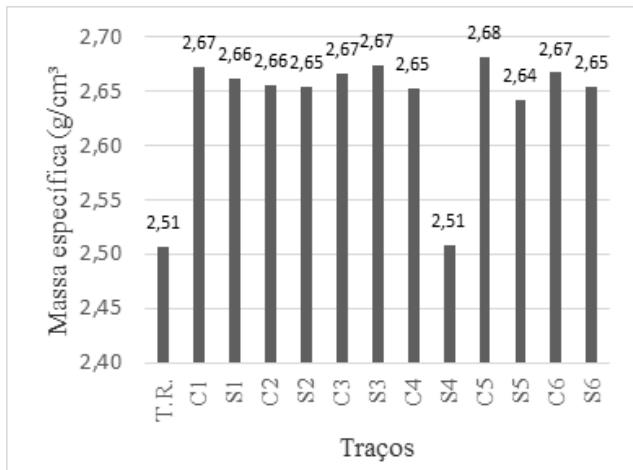


Figura 06: Massa específica.
Fonte: autores.

massa específica pode-se perceber que não houve uma variação significativa entre as duas pozolanas estudadas.

4.3. Resistência à compressão axial

Serão apresentados na Figura 07 a evolução da resistência

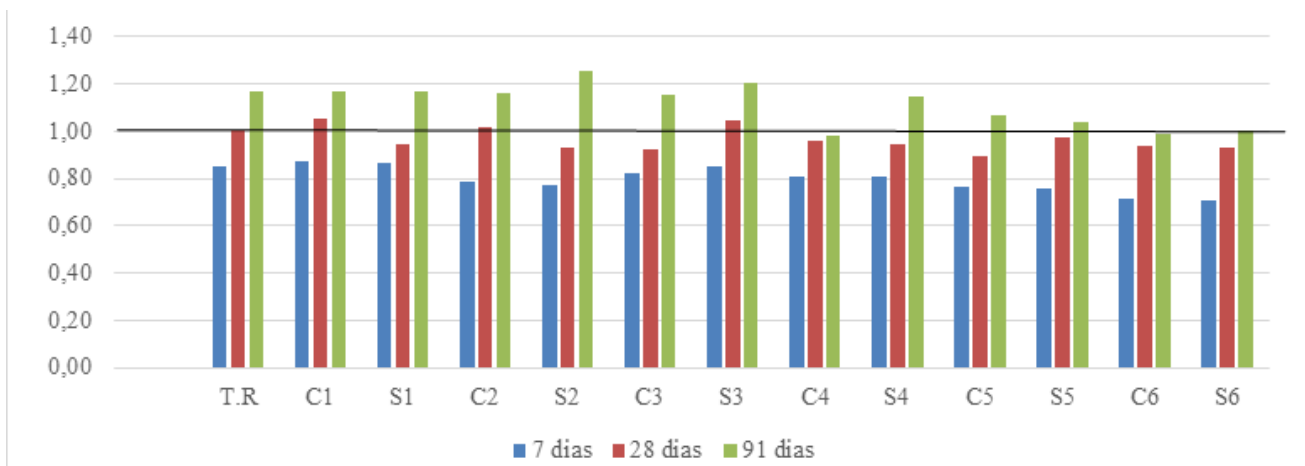


Figura 07: Média da compressão axial dos traços aos 7, 28 e 91 dias.
Fonte: autores.

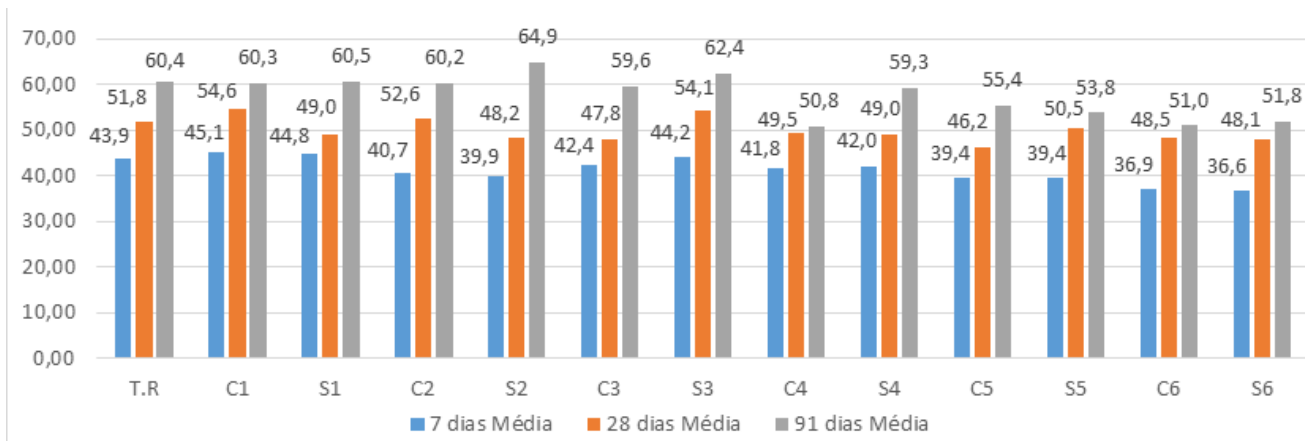


Figura 08: Porcentagem da resistência à compressão axial tomando como referência a resistência aos 28 dias do T.R.
Fonte: autores.

a compressão axial do concreto obtida com a média de três corpos-de-prova para as idades de 7, 28 e 91 dias, que foram ensaiados segundo recomendações da NBR 5739: 2007 Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova.

Tomando como base a resistência à compressão axial aos 28 dias de idade do T.R. pode-se definir que:

- Os traços C4 e C6 nas idades de 91 dias não atingiram a resistência do T.R. aos 28 dias.
- Os demais traços aos 91 dias de idade apresentaram resistência maior ou igual a do T.R. aos 28 dias de idade.

Na Figura 08 estão apresentados os resultados de resistência à compressão axial de todas as misturas estudadas em porcentagem tomando como base a resistência do T.R.

Ao analisar-se todas as resistências à compressão axial dos traços percebemos que a resistência não é proporcional ao teor de substituição de pozolanas, o que vem de encontro com o estudo de Ludwig (2014) que em seu estudo substituiu cimento por CCA em teores de 3, 5 e 7%, e comparou com um traço referência. Constatou que os traços de 3 e 7% têm maior resistência à compressão axial que o traço de 5% de substituição de cimento por CCA.

Para Bezerra et al (2011), o aumento da resistência em idades mais avançadas pode ser atribuído, à reação da CCA com o hidróxido de cálcio formando o C-S-H, material resistente e estável, que favorece o aumento da resistência (reação pozolânica). Para Malhotra e Metha (1996), o bom desempenho de traços com CCA é explicado pelo fato de haver preenchimento dos vazios da argamassa, denominado efeito filler, aumentando o empacotamento das partículas e diminuindo, assim, os vazios, favorecendo positivamente a resistência a compressão simples.

Aos 91 dias de idade os traços S2 e S3 mostraram-se com as maiores resistências, logo nesses traços apresentou-se a reação pozolânica devido conter a sílica de casca de arroz. Essa reação

tende a se desenvolver em idades superiores de 28 dias. (SILVA et al., 2009).

5. CONCLUSÃO

O estudo mostrou que quanto maior for o índice de substituição e redução de cimento por alguma das pozolanas maior será a consistência do concreto, perdendo a fluidez e a habilidade passante do concreto, devido as pozolanas absorverem mais água. Sugere-se que utilize aditivo plastificante junto ao concreto para que diminua a viscosidade das misturas.

O ensaio de massa específica realizado em cada traço mostrou que o S4 (substituição de 10% de cimento e redução de 5%) manteve-se com a mesma característica que o T.R., ou seja, $2,51 \text{ g/cm}^3$, os demais tiveram um aumento médio de 5,97% nas suas massas específicas quando comparadas com o T.R. Entre os ensaios de índice de vazios e massa específica percebe-se que não obteve-se variação significativa entre os traços.

Quanto aos ensaios de resistência à compressão axial os traços com sílica de casca de arroz mostraram-se com resultados ligeiramente superiores aos traços com cinza de casca de arroz. Com exceção dos traços C4 e C6 os demais mostraram-se viáveis por adquirirem maior resistência que o traço referência aos 28 dias de idade. O traço S2 (10% de substituição de cimento por sílica de casca de arroz) teve o maior ganho de resistência chegando a 64,87 MPa aos 91 dias. O que corresponde a 25,23% de resistência a mais do T.R. aos 28 dias, porém, com o traço S6 (aos 91 dias) pôde-se substituir um teor de pozolana de 10% e reduzir 10% de cimento, tendo a mesma resistência do T.R. aos 28 dias de idade, possibilitando assim, substituir uma maior porcentagem de pozolana e consequentemente reduzir uma proporção maior de cimento.

Logo, as substituições de CCA e de SCA trazem benefícios sustentáveis, técnicos e financeiros, sendo que substituindo CCA ou SCA parcialmente na composição do concreto consegue-se dar um destino adequado ao resíduo, o concreto tem um ganho em algumas propriedades mecânicas e torna-se uma alternativa econômica por possibilitar a redução do consumo de cimento.

Para trabalhos futuros sugere-se testes maiores porcentagens de substituições de cimento por pozolanas e também reduções na quantidade de cimento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro 2016.

_____. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro. 2004.

_____. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro. 2007.

_____. **NBR 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos.** Rio de Janeiro 2015.

_____. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão.** Rio de Janeiro 2009.

_____. **NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro 2006.

_____. **NBR NM 52:2009 – Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro 2009.

_____. **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro 2009.

_____. **NBR NM 67: 1996. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro 1996.

_____. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro 2003.

AKASAKI, J. L.; SILVA, E. J.; TASHIMA, M. M.; BARBOSA, M. B. **Influência da adição de cinza de casca de arroz nos tempos de pega e retração por secagem.** In: Simpósio Ibero-Americano, 2005, Coimbra – Portugal. Anais... Portugal: SIABE 05, 2005.

BEZERRA, I. M. T.; SOUZA, J.; CARVALHO, J. B. Q.; NEVES, G. A. **Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.15, n.6, p.639–645, 2011, Campina Grande, PB, UAEA/UFCG 03,2011.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em 15 de maio de 2018.

CORDEIRO, G. C.; FILHO, R. D. T.; FAIRBAIRN, M.R. **Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto.** Monografia (Programa de pós-graduação em Engenharia Civil). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro. 2009.

DALCIN, Jarbas Bressa. **Avaliação do uso da sílica de casca de arroz obtida através da queima controlada como substituição parcial ao Cimento Portland na produção de concretos autoadensáveis.** Dissertação (mestrado). Alegrete, 2016. Universidade Federal do Pampa- UNIPAMPA, Programa de pós-Graduação em Engenharia. 2016.

FOLETTTO, HOFFMANN, SCOPEL, LIMA, JAHN; **Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz.** Departamento de Engenharia Química, UFSM – RS. Quim. Nova, V 28 Nº 6, 2005.

ITAMBÉ. **Cimento para toda a obra.** Disponível em < <http://www.cimentoitambe.com.br/relatorios-de-en-saio/?pro=371>>. Acesso em 01 de maio de 2018.

LUDWING, Douglas Giongo. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz.** Monografia (Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas) - Centro Universitário Univates, Lajeado, 2014.

MALHOTRA, V. M.; MEHTA, P. K. **Pozzolanic and cementitious materials.** 1.ed. Amsterdam: Advances in Concrete Technology, 1996. 191p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: PINI, 2014.

NASCIMENTO, W. N.; et al. **Adição de cinza de casca de arroz CCA no concreto, sob o aspecto da durabilidade.** In: 44º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO. Anais. São Paulo: IBRACON, 2002.

OLDRA, Gean. **Avaliação da durabilidade de concretos fabricados com baixos teores de sílica de casca de arroz imersos em solução de sulfato de magnésio.** Monografia (graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete.2015.

PÁDUA, P. G. L. **Argamassas para concretos estruturais confeccionados com cinza de bagaço de cana-de-açúcar in Natura.** In: Congresso Brasileiro do Concreto, 53, 2011, Florianópolis: IBRACON, 2011.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.** Tese (Doutorado). Porto Alegre, 2006. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2006.

SANTOS, S. **Produção e Avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SILVA, C. A. R. **Aplicação do Conceito de Maturidade em concretos com adição da cinza de casca de arroz.** 2004. 115p. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha solteira, 2004.

SILVA, E. J.; AKASAKI, J. L.; DASNOY, J. **Influência das variáveis envolvidas no plantio de arroz nas características da cinza de casca de arroz.** Ambiente Construído, v.9, p.67-82, 2009.

SILVA, E.J, RICCI E.C, AKASAKI J.L, TASHIMA.MT. **Análise**

da variação da retração por secagem em argamasas com a adição da cinza de casca de arroz. Anais do VI Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, Abril / 2006.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (Org.). **Produção Regional 2021.** Disponível em: < <http://snic.org.br/numeros-relatorio-anual.php>>. Acesso em: 08 agosto. de 2021.

SOUZA, J. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e casca de arroz no traço.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande – PB, 2008.

TIBONI, R. A **Utilização da Cinza da Casca de Arroz de Termoelétrica como Componente do Aglomerante de Compósitos à Base de Cimento Portland.** Dissertação de mestrado. Universidade de Sao Paulo. Sao Carlos – SP, 2007.

WEBER, Silvana Leonita. **Metodologia para Obtenção de Sílica de Elevada Reatividade para Uso em concreto de Alto Desempenho a Partir do Processamento de Cinza de Casca de Arroz.** Florianópolis, 2001. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. 2001.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0988-2682>

CRISTIANE CARINE DOS SANTOS, Doutora em Engenharia Civil | Universidade Federal de Santa Maria | Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental | Santa Maria, RS - Brasil | E-mail: cristiane.c.santos@ufsm.br

PAULO VINICIUS FISCHER MARTINS | Engenheiro Civil | Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI | Frederico Westphalen, RS - Brasil | E-mail: paulo_vinicius04@hotmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

SANTOS, Cristiane Carine dos; MARTINS, Paulo Vinicius Fischer. MIX Sustentável, v. 9, n. 10, p. 17-28, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso

em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.17-28>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.17-28).

SUBMETIDO EM: 29/06/2023

ACEITO EM: 05/11/2023

PUBLICADO EM: 08/01/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Registro da contribuição de autoria:

Taxonomia CRediT (<http://credit.niso.org/>)

CCS: conceituação, curadoria de dados, análise formal, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, administração de projetos, supervisão, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

PVFM: conceituação, curadoria de dados, análise formal, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

EFFECT OF RESIDENTIAL STOVE TECHNOLOGY ON GASEOUS EMISSIONS FROM BIOMASS COMBUSTION

EFEITO DA TECNOLOGIA DE FOGÕES RESIDENCIAIS NAS EMISSÕES GASOSAS DA COMBUSTÃO DA BIOMASSA

EFFECTO DE LA TECNOLOGÍA DE ESTUFA RESIDENCIAL EN LAS EMISIONES GASEOSAS DE LA COMBUSTIÓN DE BIOMASA

MATHEUS POLETO, Dr. | UCS - Universidade de Caxias do Sul, Brasil

CARLOS HENRIQUE MEDINA GUEDES | UCS - Universidade de Caxias do Sul, Brasil

ABSTRACT

The growing use of biomass for cooking and heating raises environmental concerns about atmospheric air pollution from flue gases emitting during its combustion. In this work, the gaseous emissions from two residential wood stoves were examined. Emissions from conventional single-stage and triple-stage combustion logwood stoves were compared using *Eucalyptus grandis* (EUG) and *Pinus elliottii* (PIE) woods as fuels. Temperature, humidity, CO, CO₂, total volatile organic compounds (TVOC) and formaldehyde (HCHO) content of the release gases were determined at the outlet of each chimney. Carbon monoxide emissions were reduced in 102% and 240%, when PIE and EUG wood logs were burned in triple-stage combustion stove. The triple combustion system showed total volatile organic compounds and formaldehyde emissions higher than obtained in conventional system possibly due to the mixture of both gaseous emissions with water vapor releasing during combustion. The results indicated that the utilization of triple combustion stove with some adjustments would be beneficial to local air quality, individual health and reduced global climate change.

KEYWORDS

Wood; combustion; gaseous emissions; residential stove; triple combustion system.

RESUMO

*A crescente utilização da biomassa para cozimento e aquecimento acarreta no aumento das preocupações ambientais quanto à poluição do ar atmosférico pelos gases emitidos durante sua combustão. Neste trabalho foram examinadas as emissões gasosas de dois fogões a lenha residenciais. Comparam-se as emissões de fogões a lenha convencionais de estágio único e de estágio triplo utilizando como combustível as madeiras de *Eucalyptus grandis* (EUG) e *Pinus elliottii* (PIE). Foram determinadas a temperatura, umidade, CO, CO₂, compostos orgânicos voláteis totais (TVOC) e teor de formaldeído dos gases liberados na saída de cada chaminé. As emissões de monóxido de carbono foram reduzidas em 102% e 240% quando as toras de madeira de PIE e EUG foram queimadas em fogão de combustão tripla. O sistema de combustão tripla apresentou emissões totais de compostos orgânicos voláteis e formaldeído superiores às obtidas no sistema convencional, possivelmente devido à mistura de ambas as emissões gasosas com vapor de água durante a combustão. Os resultados indicaram que a utilização do fogão de combustão tripla, com algumas adaptações, seria benéfica para a qualidade do ar local, saúde individual e para redução das mudanças climáticas globais.*



PALAVRAS-CHAVE

Madeira; combustão; emissões gasosas; fogão residencial; sistema de combustão tripla.

RESUMEN

*El creciente uso de biomasa para cocinar y calentar genera una mayor preocupación ambiental con respecto a la contaminación del aire atmosférico por los gases emitidos durante la combustión. En este trabajo se examinaron las emisiones gaseosas de dos estufas de leña residenciales. Se comparan las emisiones de estufas de leña convencionales de una y tres etapas que utilizan madera de *Eucalyptus grandis* (EUG) y *Pinus elliottii* (PIE) como combustible. Se determinó la temperatura, humedad, CO, CO₂, compuestos orgánicos volátiles totales (COVT) y contenido de formaldehído de los gases liberados a la salida de cada chimenea. Las emisiones de monóxido de carbono se redujeron en un 102 % y un 240 % cuando se quemaron troncos de madera PIE y EUG en una estufa de triple combustión. El sistema de triple combustión presentó emisiones totales de compuestos orgánicos volátiles y formaldehído superiores a las obtenidas en el sistema convencional, posiblemente debido a la mezcla de ambas emisiones gaseosas con vapor de agua durante la combustión. Los resultados indicaron que el uso de la estufa de triple combustión, con algunas adaptaciones, sería beneficioso para la calidad del aire local, la salud individual y para reducir el cambio climático global.*

PALABRAS CLAVE

Madera; combustión; emisiones gaseosas; estufa residencial; sistema de triple combustión.

1. INTRODUCTION

Increasing world energy demands estimated in 50% from 2020 and 2050 (KISTLER et al., 2012) associated with climatic effects from fossil fuel combustion are the driving force to accelerating the need for sustainable energy sources. Biomass has become a possible alternative source of energy. At around 26% of the domestic applied thermal energy in European Union households comes from renewable sources. Biomass combustion represent 98% of this total (KISTLER et al., 2012). In Canada, every year, over 100 petajoules of energy from wood are consumed in the residential sector, which represented more than 7% of residential energy used (GOVERNMENT OF CANADA, 2017). In 2018, the energy from biomass represented 9% of all electrical energy generated in Brazil (BRAZIL, 2021).

Nonetheless, biomass is generally used for cooking and heating in several low- and middle-income countries, such as, India, China and Brazil. Globally, at around 2.4 billion people relied on these fuels for domestic cooking, and this value is expected to little change until 2030. However, the incomplete combustion of biomass fuel, usually in low-efficiency stoves, emits large amounts of gaseous pollutants and particulate matter, which can be causing various diseases (ZHAO et al., 2022).

Thereby, while wood is a potential renewable and sustainable energy source, it is also a source of hazardous gaseous emissions in low-efficient stoves in many households around the world. Residential wood combustion contributes significantly with the urban air pollution and gaseous particulate emissions (WIN and PERSSON, 2014). The incomplete combustion products present in wood smoke such as CO, CH₄, particulate matter, volatile organic compounds (VOC), including toxic and carcinogenic constituents, mainly polycyclic aromatic hydrocarbons, causing environmental pollution and also global warming (ZHAO et al., 2022; WIN and PERSSON, 2014).

The emissions during wood combustion depend on fuel type, combustor type, combustion technology and individual parameters, such as lighting the fuel and operation habits (KISTLER et al., 2012). Due to wood availability and low cost when compared to others fuels, residential wood heating probably will persist in the near future in many parts of the world (BHATTU et al., 2019). However, manually operated small units, such as fireplaces and stoves, are potential emitters of incomplete combustion products (KISTLER et al., 2012). Therefore, a development of a combustion technology improving

the process control and performance has become a necessity due to stringent emission legislations. The reductions of gaseous and particulate emissions from solid fuel combustion stimulated the development of various improved stoves in recent decades, such as downdraft stoves, gasifier stoves, rocket stoves, catalytic stoves and forced-air stoves (ZHANG et al., 2021).

Brazil has an economy dependent on the primary sectors of agricultural and forestry production, explaining the significant representativeness of biomass within the national power matrix (SILVA et al., 2018). The average production of primary energy in Brazil was made up of 54.2% non-renewable sources and 45.8% of renewable sources between 2006 and 2015 (SILVA et al., 2018). The renewable sources were composed by hydroelectric power (13.4%) and biomasses such as sugarcane products (18.1%) and firewood (10.7%) (SILVA et al., 2018). Biomasses come from silvicultural sector or as residues from some agricultural production chain. The Brazilian woody biomass is consumed directly as fuel in power generation or as raw material in the carbonization process of charcoal production. The Brazilian production is mainly supplied by plantations of eucalyptus, followed by pine wood (SILVA et al., 2018). However, in low income households the usage of wood wastes to prepare meals in low-effectively or primitive stoves has increasing. The Brazilian Institute of Geography and Statistics point out that in Brazil 14 million households used wood or coal to prepare their meals in 2018, which represented an increase of 20% when compared with 2016 (BRAZIL, 2021).

The present study compares two residential stoves manually operated with different combustion technologies. A conventional single-stage and a triple-stage combustion logwood stoves using eucalyptus and pine wood species as fuels. First, we characterized both wood species used during combustion. Secondly, we evaluated the effect of stove technology on the gaseous emissions during the combustion cycle and compare these emissions with those from both devices tested in this study and literature values.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Material sampling

Wood samples were obtained from a lumber industry located at Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, Brazil. The *Eucalyptus grandis* (EUG) and *Pinus elliottii* (PIE) were used as fuels in both stoves tested.

2.2. Stove operation and gas emission measurement

Conventional single-stage combustion and triple-stage combustion logwood residential stoves were used. The combustion air is provided through a grate in the bottom of the single-stage combustion residential stove while airflow is controlled manually via a front opening valve. The triple-stage combustion residential stove operates with three combustion zones. The combustion air is also provided through a grate in the bottom (primary air), similar to the single-stage combustion stove. The secondary air insertion occurs by means of slits located in the back wall, applying air at a higher temperature than the primary air. The air is sectioned through a tube, using the pressure difference between the external environment and the interior of the stove to insert the oxygen in the system. The tertiary entrance the air is also inserted behind the equipment, but as the tube is longer, it passes above the burn, thus raising its temperature optimizing the combustion system. In both stoves tested the exhausted gases leaving the stove by a chimney.

Each load consisted of around 1.5 kg of wood composed by 2 or 3 wood logs sized on the average 5x5x25 cm. After setting fire to each wood sample, in each of the evaluated stoves, 30 minutes were waited before carrying out the measurements, in order to provide uniformity of wood burning. Measurements were performed in

quintuplicate at the outlet of each chimney. The air quality meter from Dongguan Jinlide Electronic Technology Company, model JD-3002, was used to measure temperature and humidity of the release gases, carbon dioxide (CO₂), total volatile organic compounds (TVOC) and formaldehyde (HCHO) emissions. Carbon monoxide (CO) emission levels were measured using a CO meter from Next Instruments, model NCO-01.

2.3. Characterization of wood

The determination of wood components, such as extractives, cellulose, hemicellulose, lignin and inorganic content were carried out in triplicate. The determination of extractives followed the TAPPI T204 cm 97 standard using ethanol/benzene in the proportion 1:2 v/v as extractor solution. Lignin determination was performed according to TAPPI T222 om-02 standard. The determination of cellulose and hemicellulose followed the modified Van Soest method (SILVA and QUEIROZ, 2009).

Immediate analysis of wood was carried out according ASTM D1762 standard. Moisture, volatile matter and ash contents were determined in triplicate. The fixed carbon content in the samples was calculated by difference.

The thermogravimetric analysis (TGA) was performed in oxygen atmosphere using a TGA 50 Shimadzu. The flow gas rate was 50 ml.min⁻¹. The temperature ranged from 25°C to 800°C with a heating rate equal to 10°C.min⁻¹.

	Biomass	Moisture (%)	Extractives (%)	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignin (%)	Ash (%)
This study	<i>Pinus elliottii</i>	13.16±0.25	10.29±0.73	40.89±1.54	9.47±2.02	25.58±1.51	0.59±0.09
	<i>Eucalyptus grandis</i>	12.00±0.38	8.12±0.70	32.30±1.56	7.03±1.00	39.30±1.34	0.93±0.06
Rowell (2005)	<i>Pinus elliottii</i>	-----	10.30	46.00	11.00	27.00	0.30
Jones et al., (2006)	<i>Pinus taeda</i>	-----	-----	36.17±2.36	23.11±1.43	28.28±1.22	-----
Rowell (2005)	<i>Eucalyptus gigantea</i>	-----	4.80	49.00	14.00	22.00	0.40
Ramírez et al., (2009)	<i>Eucalyptus globulus</i>	-----	1.80±0.30	62.6±1.90	11.9±1.70	26.60±1.00	-----

Table 01: Wood components and its comparison with others values from the literature.
Source: Authors.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Wood components

The chemical composition of PIE and EUG samples was determined based on the extractives, cellulose, hemicellulose, lignin and ash contents. Table 01 presented the wood components of both wood species used in this work and compared these results with others from the literature. Both species presented higher moisture content. However, some studies indicate that the moisture content of air-dried wood varies from 13% to 18% (RODOLFO JÚNIOR, 2005). Higher moisture content can reduce the temperature in the combustion chamber due to water evaporation, which may result in incomplete combustion (BHATTU et al., 2019).

PIE presented higher quantity of extractives. Pinus is a resinous wood specie, which should explain the higher quantity of extractives in this wood when compared to a hardwood specie. On the other hand, the amount of extractives removed from the wood depends on several factors, such as the species, age and original location of the wood sample in the tree (SHEBANI et al., 2009). The content of extractives, in general, varies between 2-5%, but can exceed 15% in species from tropical climates (GUO et al., 2010; MÉSZÁROS et al., 2007).

The higher lignin content in EUG indicates a higher concentration of aromatic structures (POLETTTO et al., 2012) in this species when compared to PIE. The lignin content can vary between 25-35% and, due to its complex structure; its components tend to a slow degradation process, being more resistant to high temperatures than hemicelluloses and cellulose (SHEBANI et al.,

2009). Cellulose and hemicellulose contents are lower in EUG, possibly due to higher lignin content in this wood specie. Hemicellulose promotes the thermal degradation of wood at low temperatures, while cellulose increases its thermal stability due to its higher molar mass (SHEBANI et al., 2008). Based on the ash content, EUG has a higher amount of inorganic compounds in its constitution.

3.2. Immediate analysis results

Table 02 presented the results of immediate analysis of both wood studied. A comparison with immediate analysis results of others wood species were also provided.

The moisture content obtained by the immediate analysis corroborate with those obtained in wood chemical composition presented in Table 1. As discussed in the previous section, the moisture content of air-dried wood can vary between 13% and 18%, depending on the equilibrium point obtained with the relative humidity of the drying air environment (RODOLFO JÚNIOR, 2005). The high content of volatile matter is typical from biomass, as can be seen in the values obtained by others authors in Table 2.

In general, the ash content obtained in the immediate analysis are also similar to those observed in wood chemical composition. Differences may be associated with variations in procedures for determining ash content. TAPPI T 211 om-02 standard, used for determined the chemical composition of wood, suggest a temperature of $575 \pm 25^\circ\text{C}$ for 3 h to obtain the ash content. ASTM D 1762, used in the immediate analysis, indicates that ash content must be obtained after 6 h

	Biomass	Moisture (%)	Volatile matter (%)	Ash (%)	Fixed carbon (%)
This study	Pinus elliottii	13.30±0.10	79.40±0.50	0.80±0.30	6.60±0.20
	Eucalyptus grandis	13.50±0.10	80.60±0.70	0.20±0.04	5.70±0.70
Borghetti (2022)	Pinus elliottii	5.25	82.17	1.01	16.82
Kumar et al., (2010)	Eucalyptus globulus	5.00	89.00	0.80	5.20
Guerrero et al., (2005)	Eucalyptus globulus	7.70	74.90	0.98	16.40

Table 2: Immediate analysis results and its comparison with others values from the literature.
Source: Authors.

at 750°C. The fixed carbon content for PIE was slightly higher than that obtained for EUG.

3.3. Thermogravimetric analysis

Figure 01 shows the weight loss curves obtained during the pyrolysis of PIE and EUG in an oxidative atmosphere. Both samples presented a thermal decomposition behavior typical of lignocellulosic materials.

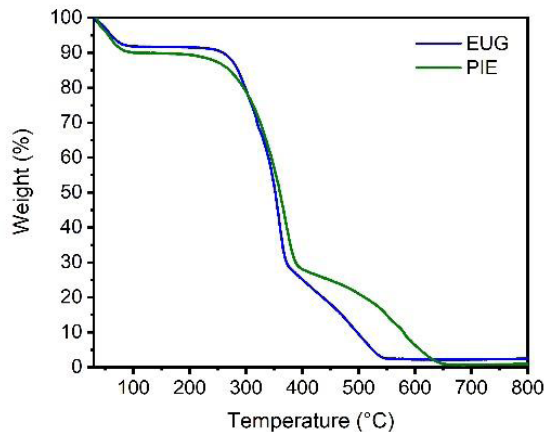


Figure 01: Thermogravimetric curves of PIE and EUG wood samples.
Source: Authors.

Both wood species presented a mass loss at temperatures below 100°C. This behavior may be related to the loss of accumulated water inside the wood, as well as the volatilization of extractives. Popescu et al (2011) determined values of moisture loss up to 140°C for wood, where all species showed different percentages of weight loss due to the elimination of water and extractives. During the thermal decomposition process of wood, molecules with low molar mass suffer degradation followed by formation of volatile gases such as CO₂ and water vapor (SHEBANI et al., 2009; POPESCU et al., 2011) at temperatures that can vary between 30 and 150°C.

The wood species present three stages of mass loss, as can be seen in Figure 1. The first stage is associated with loss of moisture and volatilization of the extractives and occurs up to approximately 100°C. The second may be related to the decomposition of hemicellulose and cellulose present in wood, as well as the slow degradation of lignin, starting at approximately 220°C and extending up to 400°C. The last stage starts at 400°C and extends to 550°C for EUG and 650°C for PIE. At this stage, the greatest degradation of lignin and aromatic compounds formed during the degradation of the evaluated wood species may occur (POPESCU et al., 2011).

3.4. Temperature and humidity of the release gases

Figure 02 shows the temperature of the gases releasing by chimney for both wood species evaluated in the two types of stoves studied.

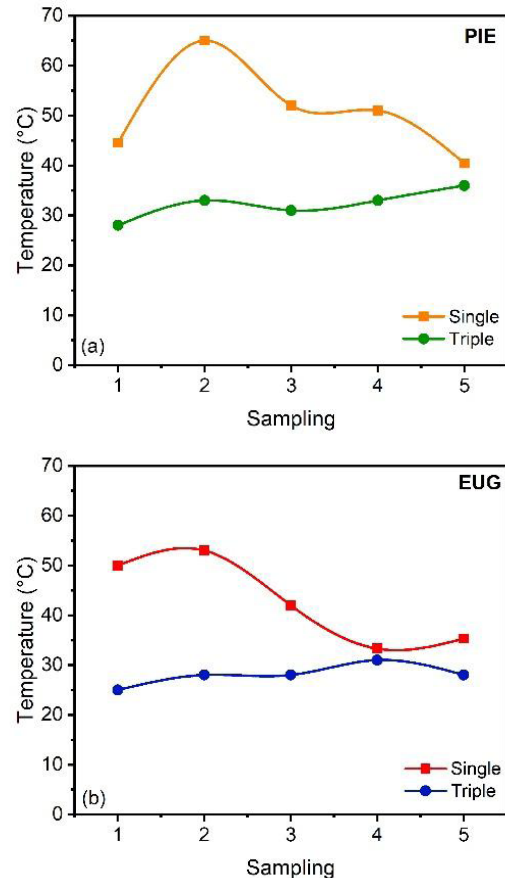


Figure 02: Temperature of gases releasing by chimney for PIE (a) and EUG (b).
Source: Authors.

As can be seen in Figure 02, the gases from single combustion logwood stove presented higher temperature those from triple combustion logwood stove. Possibly the triple combustion system allows an additional burning of the combustion gases and, in this way, increases the heat exchange in the internal environment of the furnace and, therefore, the gases releasing the combustion chamber with a lower temperature. When compared both wood species, the temperature of the exhaust gases is higher for PIE wood. This result may be associated with the resinous characteristic of this softwood. After wood ignition, the resin burns fast and may accelerate the burning of wood. In addition, this behavior is also in agreement with the higher amount of extractives obtained for PIE wood, as presented in Table 1. Vicente et al (2018) obtained temperatures at around 50°C for gases releasing by the chimney

in Portuguese charcoal barbecue grills. This value is similar to the mean temperature value obtained for the single stove tested in this work.

The humidity of the exhaust gases measured in chimney outlet are show in Figure 03. In general, the gases from triple combustion system presented higher humidity those from conventional stove.

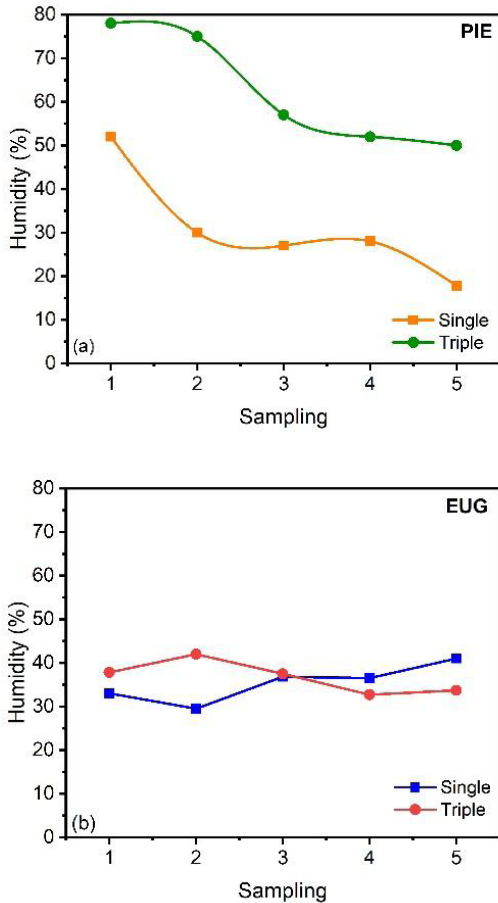


Figure 03: Humidity of the exhaust gases from PIE (a) and EUG (b) in both stoves tested.
Source: Authors.

The higher quantities of water leaving the combustion chamber in the triple combustion stove may indicate that wood is more efficiently converted in carbon dioxide, water and energy. This implies in a more efficient combustion system. The secondary and tertiary air insertion burning the volatile gases, such as CO and CH₄, releasing after wood burning. A similar result was obtained by Cardoso and coworkers (2010). The authors observed an increased in the humidity of the exhausted gases after burning the gases releasing during Eucalyptus sp. combustion.

The triple combustion stove presented lower CO emissions for both wood tested, as can be seen in Figure 4. The CO emissions were greatly reduced probably because of their higher burnout in triple combustion stove

with high furnace temperature and sufficient air supply (ZHANG et al., 2021; SARAVANAKUMAR et al., 2022). In the conventional stove CO is not totally burned. Carbon monoxide is formed from incomplete combustion of the fuel and is affected by several parameters such as, non-optimized air flow rate, insufficient residence time, non-perfect mixing of air and flue gas in post combustion, among others (OLAVE et al., 2017; KHODAEI et al., 2017; THIRUGNANASAMBANTHAM et al., 2020).

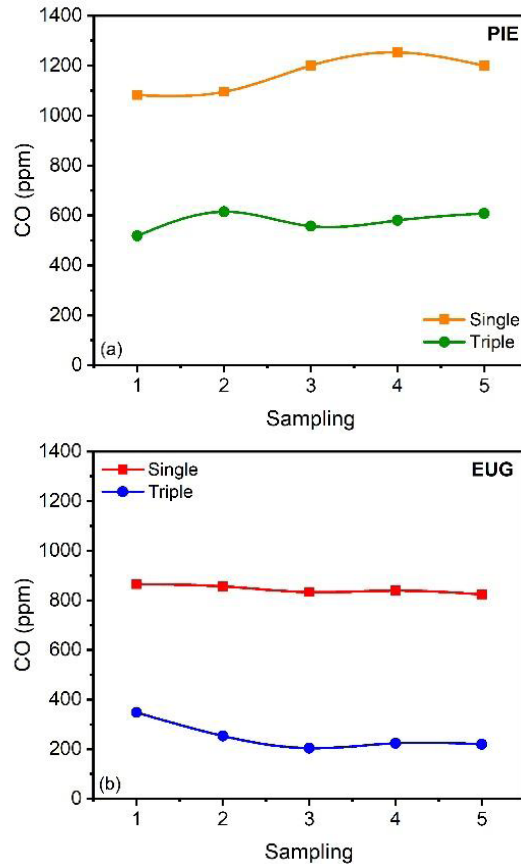


Figure 04: CO emissions in ppm after combustion of PIE (a) and EUG (b).
Source: Authors.

There was a reduction in CO emissions for both wood species tested during combustion in the triple combustion stove. This reduction was approximately 102% when PIE was used as fuel and reaches 240% when EUG was tested. The reduction in CO emission might be associated with the triple burning system. The gases released after combustion are trapped on the combustion chamber, which makes possible promotes a secondary and tertiary combustion with the insertion of air in three different zones into the chamber, as showed in Figure 05.

The combustion sequence occurs in three distinct stages. The first combustion occurs in the same way as in single combustion stoves, where basically the primary air

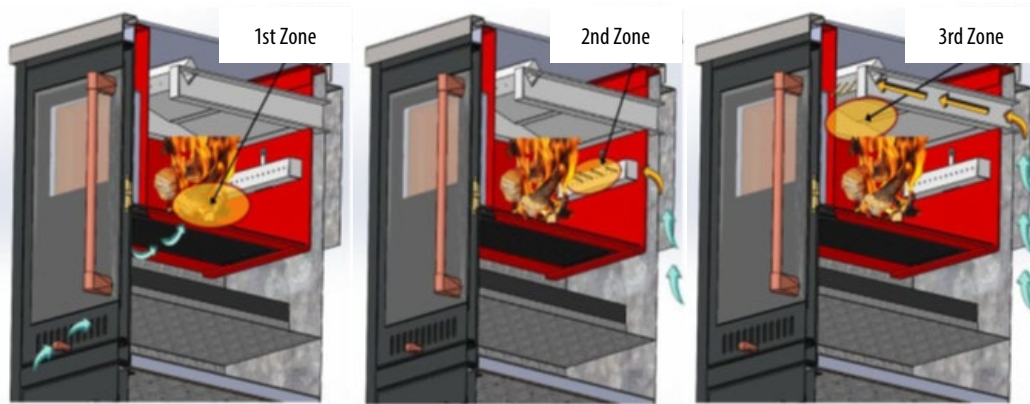


Figure 05: Side view of the combustion chamber in triple combustion stove showing the three zones of air insertion.
Source: Authors.

enters through the front of the equipment, at room temperature being inserted below the wood. The second air insertion occurs behind the equipment, applying air at a higher temperature than the first, where basically the air is sectioned by means of a tube, using the pressure difference between the external environment and the interior of the equipment to air. In the third zone, the air is also inserted behind the equipment, but as the tube is longer, it passes above the burn, thus raising its temperature and making the other stages higher. So, an increased in flue gas temperature may be ignite the volatiles released during combustion (BHATTU et al., 2019). These three steps result in a more efficiently combustion system when compared to conventional single combustion stoves. Zhang et al. (2021) observed a reduction of 96% in CO emissions comparing a traditional domestic stove and a proposed stove based on three combustion technology.

The CO₂ emission was higher for PIE than EUG wood, as can be seen in Figure 06. It is also possible observed in Figure 6 that some CO₂ measurements are higher in triple combustion system for PIE than EUG. This behavior may be related to the subsequent burning of gases in the three combustion zones, which results in the conversion of carbon monoxide, and other volatile gases into carbon dioxide. The fuel oxidation reaction is improved and approaches to complete combustion (SARAVANAKUMAR et al., 2022). This result is in agreement with the reduction of CO emission observed in Figure 04(a)

Figure 07 showed the TVOC results obtained during the combustion of PIE and EUG. The TVOC emissions are similar in both systems evaluated, showing small variations throughout the measurements performed. In general, triple combustion system showed TVOC concentrations higher than those obtained in conventional system, with is an unexpected result.

Ruling out possible experimental errors, volatile

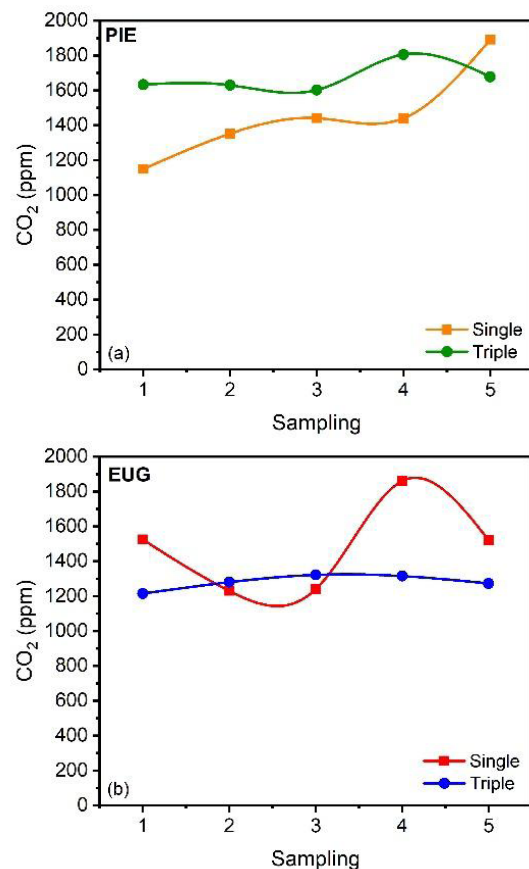


Figure 06: CO₂ emissions in ppm after combustion of PIE (a) and EUG (b) in both stoves tested.
Source: Authors.

organic compounds (VOCs) are substances that may evaporate at low temperatures, and therefore could be leaving the system through the chimney. Křůmal et al. (2019) suggest that wet wood ignites and burns more slowly than dry wood. So, when burning dry wood volatile matter is releasing more easily than from wet wood. Therefore, the combustion process can rapidly develop and further combustion is limited by the supply of oxidant.

In case of a high rate of volatile matter released and a lack of oxidant, the volatile matter cannot burn out

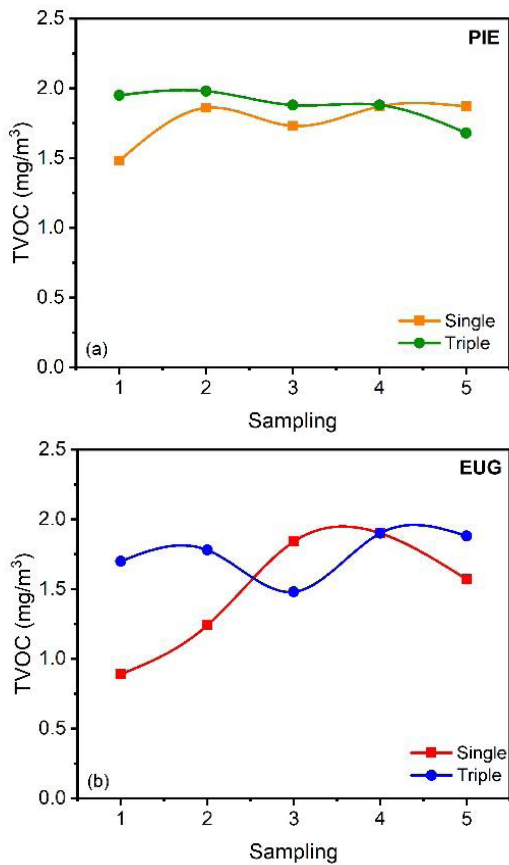


Figure 07: TVOC emissions after combustion of PIE (a) and EUG (b) in both stoves tested.
Source: Authors.

despite the sufficient temperature in the combustion chamber (KRŮMAL et al., 2019). As a result, volatile matter leaves the combustion chamber without burning out which can generate higher emission of pollutants.

The HCHO emissions obtained during the combustion of PIE and EUG are shown in Figure 08. In general, the formaldehyde concentration was higher in triple combustion system, when compared to conventional system, which is also an unexpected result. Formaldehyde is a colorless gas with an irritating odor and high solubility in water. HCHO is also soluble in most common organic solvents, which can be explained due to its polarity (RUSSEL, 1994). As shown in Figure 03, the humidity of the gases from the triple combustion system are higher than that obtained from the single combustion system. Thus, given the high water solubility of formaldehyde, it may be releasing from the combustion chamber along with water vapor, which could explain the higher HCHO content in the gases generated in triple combustion stove.

5. CONCLUSION

The temperature of the gases emitted by the chimney in triple combustion system is lower than that of the gases

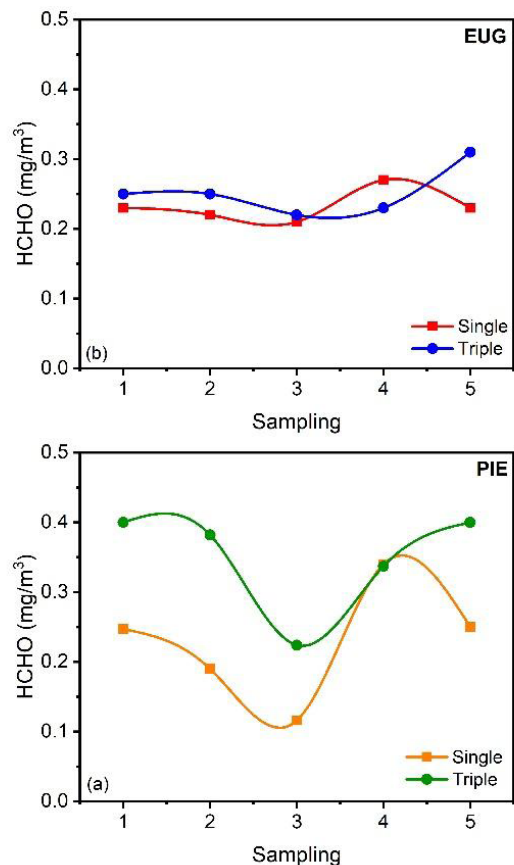


Figure 08: HCHO emissions after combustion of PIE (a) and EUG (b) in both stoves tested.
Source: Authors.

emitted from conventional system, possibly due to efficiently burning of gases generated during combustion. However, the humidity of the gases generated in the triple combustion system is higher than that observed in the single combustion system. There was a reduction in the CO content emitted between the two stoves analyzed for the two wood species evaluated. An increase in CO₂ emissions were observed in the triple combustion system, which may be directly related to the more efficient burning of carbon in this stove. The triple combustion system showed concentrations of TVOC and HCHO higher than those obtained in the conventional stove. In fact, this result was not expected, since the triple combustion system, in theory, would provide burning of gases released in combustion chamber. However, both TVOC and HCHO are composed of volatile gases that may not be trapped in the second combustion chamber of the triple combustion stove, being expelled through the chimney. In general, the results demonstrated that triple combustion system is more efficient than conventional single combustion stove. However, based on the TVOC and HCHO results the triple combustion stove still has potential for some adjustments, so that it may be able to demonstrate more

positive results regarding the emission of harmful gases.

REFERENCES

- BHATTU, D; ZOTTER, P; ZHOU, J; STEFENELLI, G; KLEIN, F; BERTRAND, A; TEMIME-ROUSSEL, B; MARCHAND, N; SLOWIK, JG; BALTENSPERGER, U; PRÉVÔT, ASH; NUSSBAUMER, T; EL HADDAD, I; DOMMEN, J. Effect of Stove Technology and Combustion Conditions on Gas and Particulate Emissions from Residential Biomass Combustion, **Environmental Science Technology**, v.53, p.2209–2219, 2019, <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05020>
- BRAZIL. **Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE)**. 2021. https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/en/agencia-news/2184-news_agency/news/32533-biomass-products-represented-9-of-electricity-in-brazil-in-2018.
- BORGHETTI M. **Avaliação do desempenho do processo de gaseificação com CO₂ de pellets e madeira de *Pinus elliottii***. 2022. Master degree dissertation. Universidade de Caxias do Sul.
- CARDOSO, MT; DAMÁSIO, RAP; CARNEIRO, ACO; JACOVINE, LAG; VITAL, BR; BARCELOS, DC. Construction of a gas burning system resulting from carbonization to reduce pollutants emissions, **Cerne**, v.16, p.115-124, 2010 <https://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/109/83>
- GOVERNMENT OF CANADA. **About renewable energy**, Renewable energy Canada. 2017. <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/energy-sources-distribution/renewable-energy/about-renewable-energy/7295>.
- GUERRERO, M; RUIZ, MP; ALZUETA, MU; BILBOA, R; MILLERA, A. Pyrolysis of eucalyptus at different heating rates: studies of char characterization and oxidative reactivity. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.74, p.307-314, 2005, <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2004.12.008>
- GUO, X; WANG, S; WANG, K; LIU, Q; LUO, Z. Influence of extractives on mechanism of biomass pyrolysis, **Journal of Fuel Chemistry and Technology**, v.38(1), p.42-46, 2010. [https://doi.org/10.1016/S1872-5813\(10\)60019-9](https://doi.org/10.1016/S1872-5813(10)60019-9)
- JONES, PD; SCHIMLECK, LR; PETER, GF; DANIELS, RF; CLARK III, A. Nondestructive estimation of wood chemical composition of sections of radial wood strips by diffuse reflectance near infrared spectroscopy. **Wood Science and Technology** v.40, p.709-720, 2006. <https://doi.org/10.1007/s00226-006-0085-6>
- KHODAEI, H; GUZZOMI, F; PATIÑO, D; RASHIDIAN, B; YEOH, GH. Air staging strategies in biomass combustion-gaseous and particulate emission reduction potentials, **Fuel Processing Technology**, v.157, p.29-41, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.11.007>
- KISTLER, M; SCHMIDL, C; PADOUVAS, E; GIEBL, H; LOHNINGER, J; ELLINGER, R; BAUER, H; PUXBAUM H. Odor, gaseous and PM₁₀ emissions from small scale combustion of wood types indigenous to Central Europe, **Atmospheric Environment**, v. 51, p.86-93, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.01.044>
- KŘŮMAL K, MIKUŠKA P, HORÁK J, HOPAN F & KRPEC K. Comparison of emissions of gaseous and particulate pollutants from the combustion of biomass and coal in modern and old-type boilers used for residential heating in the Czech Republic, Central Europe, **Chemosphere**, v.229, p.51-59, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.137>
- KUMAR, G; PANDA, AK; SINGH, RK. Optimization of process for the production of bio-oil from eucalyptus wood. **Journal of Fuel Chemistry and Technology**, v.38, p.162-167, 2010, [https://doi.org/10.1016/S1872-5813\(10\)60028-X](https://doi.org/10.1016/S1872-5813(10)60028-X)
- MÉSZÁROS, E; JAKAB, E; VÁRHEGYI, G. TG/MS, Py-GC/MS and THM-GC/MS study of the decomposition and thermal behavior of extractive components of *Robibia pseudoacacia*. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.79 p.61–70, 2005, <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2006.12.007>
- OLAVE, RJ; FORBES, EA; JOHNSTON, CR; RELF, J. Particulate and gaseous emissions from different wood fuels during combustion in a small-scale biomass heating system. **Atmospheric Environment**, v.157, p.49-58, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.03.003>
- POLETTI, M; ZATTERA, A J; SANTANA, R M C. Structural differences between wood species: Evidence from

chemical composition, FTIR spectroscopy, and thermogravimetric analysis, **Journal of Applied Polymer Science**, v.126 p.E336-E343, 2012, <https://doi.org/10.1002/app.36991>

POPESCU, MC; POPESCU, CM; LISA, G; SAKATA, Y. Evaluation of morphological and chemical aspects of different wood species by spectroscopy and thermal methods, **Journal of Molecular Structure**, v.988, p.65-72, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2010.12.004>

RAMÍREZ, M; RODRÍGUEZ, J; BALOCCHI, C; PEREDO, M; ELISSETCHE, JP; MENDONÇA, R; VALENZUELA, S. Chemical Composition and Wood Anatomy of Eucalyptus globulus Clones: Variations and Relationships with Pulpability and Handsheet Properties, **Journal of Wood Chemistry and Technology** v.29, p.43-58, 2009, <https://doi.org/10.1080/02773810802607559>

RODOLFO JÚNIOR, A. **On the processability and properties of pinus reinforced PVC composites**. 2005. Master degree dissertation. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROWELL RM (Ed.), Wood chemistry and wood composites. Boca Raton: **CRC Press**, 2005.

RUSSEL, JB, General Chemistry, São Paulo Pearson Education, **Makron Books**, 1994.

SARAVANAKUMAR, K; ROBINSON, Y; MADHU, P; MANOJ, MATHEW. Selection of Oil and best Bio-diesel Blend based on Performance and Emission Characteristics of IC Engine: An Integrated CRITIC-TOPSIS Approach, **Journal of Scientific and Industrial Research**, v.81, p.1342-1352, 2022, <https://doi.org/10.56042/jsir.v81i12.47120>

SHEBANI, A N; VAN REENEN, A J; MEINCKEN M. The effect of wood extractives on the thermal stability of different wood-LLDPE composites, **Thermochimica Acta** v.481(1-2), p.52-56, 2009 <https://doi.org/10.1016/j.tca.2008.10.008>

SHEBANI, A N; VAN REENEN, A J; MEINCKEN M. The effect of wood extractives on the thermal stability of different wood species, **Thermochimica Acta**, v.471(1-2), p.43-50, 2008, <https://doi.org/10.1016/j.tca.2008.02.020>

SILVA, CMS DA; CARNEIRO, ACO; VITAL, BR; FIGUEIRÓ,

CG; FIALHO, LF; MAGALHÃES, MA DE; CARVALHO, AG; CÂNDIDO, WL. Biomass torrefaction for energy purposes – Definitions and an overview of challenges and opportunities in Brazil, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.82, p.2426-2432, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.095>.

SILVA, DJ; QUEIROZ, AC. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**, 3ª ed. (2009) Viçosa: Editora UFV.

THIRUGNANASAMBANTHAM, R; ELANGO, T. Emission Analysis of Chlorella sp. Microalgae Biodiesel with Oxide Nano Additives in Diesel Engine, **Journal of Scientific and Industrial Research**, v.79, p.1031-1034, 2020 <https://nopr.niscpr.res.in/bitstream/123456789/55619/1/JSIR%2079%2811%29%201031-1034.pdf>

VICENTE, ED; VICENTE, A; EVTYUGINA, M; CARVALHO, R; TARELHO, LAC; ODUBER, FI; ALVES, C. Particulate and gaseous emissions from charcoal combustion in barbecue grills. **Fuel Processing Technology**, v.176, p.296-306, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.03.004>

WIN, KM; PERSSON, T. Emissions from Residential Wood Pellet Boilers and Stove Characterized into Start-up, Steady Operation, and Stop Emissions, **Energy&Fuels**, v.28, p.2496-2505, 2014, <https://doi.org/10.1021/ef4016894>

ZHANG, C; LIU, C; LI, X; LIU, P; ZHANG, Y; DU, Q; LIU, J; ZHUO, W; ZHUO, Y; YANG, J; MA, Z; MU, Y. A novel clean combustion technology for solid fuels to efficiently reduce gaseous and particulate emissions, **Journal of Cleaner Production**, v.320 p.128864 1-9, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128864>

ZHAO, J; SHEN, G; SHI, L; LI, H; LANG, D; ZHANG, L; PAN, B; TAO, S. Real-World Emission Characteristics of Environmentally Persistent Free Radicals in PM2.5 from Residential Solid Fuel Combustion, **Environmental Science Technology**, v. 56, p.3997–4004, 2022, <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c08449>

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank Brazilian lumber industries for supplying the wood samples used in this study and Guindani Stoves. This work was supported

by the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq).

AUTORES

ORCID: 0000-0003-2317-2713

MATHEUS POLETTO | Doutor Engenharia de Materiais | Universidade de Caxias do Sul (UCS) | Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias | Bento Gonçalves - RS - Brasil | Correspondência para: Alameda João Dal Sasso, 800 - Universitário, Bento Gonçalves - RS, 95705-266 | E-mail: mpolett1@ucs.br

ORCID: 0009-0003-7618-5849

CARLOS HENRIQUE MEDINA GUEDES | Graduando Engenharia Mecânica | Universidade de Caxias do Sul (UCS) | Engenharia Mecânica | Bento Gonçalves - RS - Brasil | Correspondência para: Alameda João Dal Sasso, 800 - Universitário, Bento Gonçalves - RS, 95705-266 | E-mail: chmguedes@ucs.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

POLETTO, Matheus; GUEDES, Carlos Henrique Medina. MIX Sustentável, v. 9, n. 10, p. 29-40, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: _/_/_doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.29-40>>.

SUBMETIDO EM: 29/07/2023

ACEITO EM: 08/11/2023

PUBLICADO EM: 08/01/2024

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRedit Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

CHMG: Conceptualization, formal analysis, Investigation, methodology, visualization, writing – original draft, Writing – review & editing, and data curation.

MP: Conceptualization, formal analysis, methodology, visualization, writing – original draft and writing – review & editing, supervision, project administration, funding acquisition, resources

Conflict of interest: nothing has been declared.

DESIGN AND UNIVERSITY: A LOOK AT REGIONAL DIFFERENCES IN BRAZIL

DESIGN E UNIVERSIDADE: UM OLHAR PARA AS DIFERENÇAS REGIONAIS

DISEÑO Y UNIVERSIDAD: UNA PERSPECTIVA SOBRE LAS DIFERENCIAS REGIONALES

LETÍCIA FARIA TEIXEIRA, Ma. | UEPA - Universidade do Estado do Pará, Brasil

ALTEM NASCIMENTO PONTES, Dr. | UEPA - Universidade do Estado do Pará, Brasil

ABSTRACT

The field of design as an area of knowledge plays a crucial role in regional development. However, another concept important for local development is sustainability, which encompasses economic, social, and environmental factors. In this context, the article seeks to analyze the presence of design in public educational institutions in the Amazon region compared to other regions of the country. Additionally, it aims to assess the approach to sustainability within design programs in the Legal Brazilian Amazon. To achieve this, a survey of undergraduate and postgraduate (Stricto Sensu) design programs was conducted, along with an investigation to identify research groups, research and extension projects, and intellectual production in 2021. Statistical analysis was applied to the collected data. The results revealed significant disparities in the presence of design in higher education across different regions of the country. The northern region, which encompasses seven out of nine states in the Amazon Region, had the lowest quantity of design education and research in the country. It is evident that design programs are more prevalent in regions with higher urbanization and industrialization rates, whereas the Amazon region demonstrates a lower presence and discussion of design compared to other areas.

KEYWORDS

Education, research and extension, Amazon, university education.

RESUMO

O design como área do conhecimento é um importante fator contribuinte para o desenvolvimento regional. No entanto, outro conceito a ser trabalhado para o desenvolvimento local é a sustentabilidade, que contempla fatores econômicos, sociais e ambientais. A partir disso, o artigo busca analisar a presença do design em instituições públicas de ensino na região amazônica quando comparadas a outras regiões do país, bem como verificar a abordagem sustentável trabalhada nos cursos de design da Amazônia Legal Brasileira. Para isso, foi realizado um mapeamento dos cursos de graduação e pós-graduação (Stricto Sensu) em design e um levantamento para identificar grupos de pesquisa, projetos de pesquisa e extensão e produção intelectual no ano de 2021, sendo aplicada análise estatística nos dados coletados. Como resultado, foram identificadas disparidades significativas quanto a presença do design no ensino superior nas regiões do país, tendo a região norte, a qual abrange sete dos nove estados da região Amazônica, o menor quantitativo referente ao ensino e pesquisa em design no país. Sendo perceptível a presença dos cursos de design em regiões com maiores índices de urbanização e industrialização, enquanto na região amazônica a temática do design apresenta uma baixa presença e discussão quando comparada a outras regiões.

PALAVRAS-CHAVE

Educação, pesquisa e extensão, Amazônia, educação universitária.



RESUMEN

El diseño como campo de conocimiento es un importante factor contribuyente al desarrollo regional. No obstante, otro concepto que debe abordarse para el desarrollo local es la sostenibilidad, que abarca aspectos económicos, sociales y medioambientales. A partir de esta premisa, el artículo tiene como objetivo analizar la presencia del diseño en las instituciones de educación pública en la región amazónica en comparación con otras regiones del país, así como evaluar el enfoque sostenible aplicado en los programas de diseño de la Amazonía Legal Brasileña. Para ello, se llevó a cabo una cartografía de los programas de pregrado y posgrado (Stricto Sensu) en diseño y se realizó una encuesta para identificar grupos de investigación, proyectos de investigación y extensión, y producción intelectual en el año 2021. Se aplicaron análisis estadísticos a los datos recopilados. Como resultado, se identificaron disparidades significativas en lo que respecta a la presencia del diseño en la educación superior en las distintas regiones del país. La región norte, que engloba siete de los nueve estados de la región amazónica, presentó la menor cantidad de programas de diseño y de investigación en el país. Es evidente la mayor presencia de programas de diseño en regiones con mayores índices de urbanización e industrialización, mientras que, en la región amazónica, la temática del diseño se caracteriza por su baja presencia y escasa discusión en comparación con otras regiones.

PALABRAS CLAVE

Educación, investigación, extensión, Amazonía, educación superior.

1. INTRODUCTION

Design is defined as a professional activity responsible for creating products and services aimed at meeting the needs of the population (HSUAN-AN, 2017), with its application geared towards promoting quality of life, as well as improving social well-being and urban development (PATROCÍNIO; NUNES, 2015). The establishment of design in Brazil occurred in the 1940s and 1950s, during the period of increasing industrialization and technological expansion under President Juscelino Kubitschek government (MANHANINI, 2019) from the perspective of three major processes: industrialization, urbanization, and globalization (CARDOSO, 2008), which contributed to its establishment in Brazil.

However, the insertion of design in the university as a university degree in Brazil occurred in the period from 1950 to 2000, in the transition stage of the country (GOMES et al., 2021), a moment marked by increasing industrialization and urbanization. In the 1950s are founded the first schools and design courses, such as the Institute of Contemporary Art (IAC) in São Paulo (LONA; BARBOSA, 2020), however, this being a free course and not a graduation. The significant milestone in the establishment of design education in Brazil at the university level occurred in 1962 with the founding of the School of Industrial Design (ESDI) in Rio de Janeiro, serving as a model for the creation of other design programs in Brazil (BURDEK, 2010). Thus, the inclusion of design in Brazilian universities was aimed at promoting the country's industrial development (ANGÉLICO; OLIVEIRA, 2017).

While the first undergraduate design programs were established in Brazil starting from the 1950s, the first *Stricto Sensu* postgraduate programs in design emerged in the 1990s, marking the maturation of the design field in the country, these postgraduate programs initially began in the southern and southeastern regions of Brazil (DINIZ, 2018). Currently, design is recognized as a distinct area of knowledge, classified within the broad field of applied social sciences, specifically within the subfield of industrial design. Design programs are offered by numerous universities throughout Brazil, with postgraduate programs overseen by the Coordination for the Advancement of Higher Education Personnel (CAPES) (NEVES et al., 2014), and undergraduate programs regulated by the Ministry of Education (MEC).

The university is a space responsible for the production of knowledge, with its three pillars being teaching, research, and extension (AGOPYAN; ARBIX, 2022). However, its role extends beyond knowledge production; the university

is also responsible for addressing social, economic, political, and environmental demands (GODDARD, 2018). Thus, it is added to the tripod of teaching, education and extension, social promotion, because the university has a relevant role in regional development and acceleration of economic and social growth in the region (HOFF et al., 2016).

Furthermore, in public universities, public education plays a crucial role in reducing inequalities. According to Schwaab et al. (2017), income inequality levels decrease as educational levels rise, highlighting the need for public policies focused on reducing educational inequalities among states. In this context, public university education generates positive effects on the local economy, as well as, the main effects of university presence in relation to industrial innovation are geographically located near the university (HOFF et al., 2016).

However, the presence of university education in Brazil is still characterized by significant regional disparities. Specifically, the northern region, especially the Amazon region, faces scarcity and limitations in terms of resources and qualified professionals, these resources are insufficient to meet the educational and research demands. In contrast, the southern and southeastern regions, which have historically benefited from social and economic advantages, are equipped with more technological resources and professionals than the Amazon region, as reported by Proença and Nenevé (2004). The Amazon region, rich in biodiversity, exposes great potential for innovation. However, the region continues to face challenges in realizing this potential due to its considerable physical distance from academic centers in the southeast of the country, additionally, the number of researchers in the northern region remains below desirable levels, as noted by Kuwahara et al. (2022).

Thus, the present study aims to analyze the teaching and research in design at Brazilian public universities. For this purpose, specific attention is given to design courses at public universities, their intellectual output, projects, and research groups. The study involves a regional comparison of data across the country, with the goal of understanding the profile of design in higher education at public universities in different regions of Brazil. Special attention is given to the northern and Amazon regions. Furthermore, we intend to examine the sustainable approach adopted in design courses within the Brazilian Legal Amazon. Considering that sustainability studied within design courses in this region can effectively contribute to promoting actions for the valorization and development of the Amazonian territory.

2. METHOD

The present study is characterized as exploratory research in terms of its objectives, bibliographic research, and a survey in relation to the methods employed, with a quantitative nature. This research examines and analyzes data related to teaching, research, and extension activities in Design programs across Brazil. It includes an analysis of undergraduate programs, *Stricto Sensu* postgraduate programs, research projects, and research groups in the field of design within public educational institutions. Furthermore, the study investigates the area of sustainability in design programs, with a primary focus on the Amazon region, both design and sustainability are essential topics for the development of this region.

The initial step of this work involves mapping courses, research groups, and postgraduate programs in public federal and state universities within the Brazilian Amazon region. According to the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE, 2020), the Brazilian Amazon encompasses nine states: Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá, Tocantins, Mato Grosso, and Maranhão, covering 64% of the Brazilian territory (COLARES et al., 2018). Of these nine states in the Brazilian Amazon, only seven belong to the northern region, one to the northeastern region, and one to the central-west region of Brazil.

For data collection, primary data were collected from the e-MEC platform of the Ministry of Education, the Sucupira Platform, and the Directory of Research Groups. The mapping of undergraduate courses was carried out on the e-MEC website, with a focus on design courses at public, federal, and state institutions. For this research, undergraduate design courses covering various design areas were specifically selected. The mapping of postgraduate design courses was conducted on the Sucupira Platform, focusing on courses within the industrial design area.

The mapping of design research groups was conducted on the Directory of Research Groups (DGP) platform of National Council for Scientific and Technological Development (CNPQ), specifically researching design groups within the broader field of applied social sciences in the area of industrial design. The DGP is utilized for the mapping of Brazilian research, containing information regarding intellectual production, research lines, and other data related to research groups in Brazil (SCHWARTZMAN, 2022).

Subsequently, the data collection phase was initiated, during which data were gathered from the Sucupira Platform concerning postgraduate programs, their intellectual production, and research projects in the year 2021.

This was done to quantify the number of papers and research projects by region in the country, as well as to assess the intellectual production in the Legal Amazon region in comparison to other regions of the country. Additionally, it aimed to examine the quantity of works focusing on sustainability in this region.

Data collection began in July 2022, starting with the survey of the Sucupira Platform and the DGP portal. In addition to data collection and analysis, bibliographic research was also employed based on the results obtained from the comparison of the data collected by region. Bibliographic research, according to Gil (2022), is research developed based on pre-existing materials such as books and scientific articles. The survey is characterized by the collection of data and quantitative analysis. Therefore, this phase of the research aims to assess the environmental and sustainable approach through the analysis of productions and projects in the design postgraduate programs (PPGs) and research groups in the Brazilian Amazon region. It also aims to compare research in this region to other parts of the country.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Design as a field of knowledge plays a significant role in territorial development, operating in various sectors of industry and commerce such as fashion, digital products, packaging, food, craftsmanship, furniture, and numerous other segments. It not only influences the visual aspect of products but also contributes to the creation of goods and services, serving as a catalyst in the formulation of development strategies linked to social well-being and urban development (PATROCÍNIO; NUNES, 2015). Therefore, design functions as a key player in the development of products and services related to the territory, as per SEBRAE (2015), acting as an instrument for adding value and product differentiation.

However, the establishment of design courses across the national territory is still closely linked to the productive sector and commerce. Consequently, the presence of undergraduate and postgraduate programs (*Stricto Sensu*) in Brazil still connected to regions with a higher presence of industry and commerce, as well as higher development indices. This can be observed in the graph (Figure 01), where the northern region has a lower number of available undergraduate and postgraduate programs, while the greater availability of courses is concentrated in the southern, southeastern, and northeastern regions of the country.

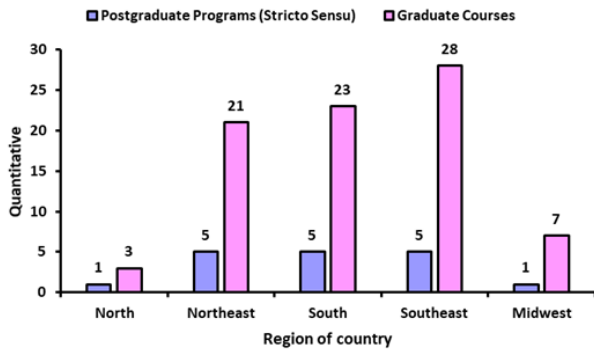


Figure 01: Distribution of Design courses at public universities from Brazil.
Source: Autors.

Regarding postgraduate education (Stricto Sensu) in design in the northern region of the country, there is a noticeable lack of such programs in the context of design research (Figure 2). In addition to the low number of postgraduate programs offered in this region, the only type offered is a professional master's degree (MP), with the number of academic master's (ME) and academic doctoral (DO) programs in design in this region equal to zero. Furthermore, out of all the programs offering doctorate degrees (9), 89% are concentrated in the south-southeast axis of the country. In other words, of the nine programs offering academic doctorate (DO) degrees in design, only one is available in the northeastern region, while eight are in the south-southeast axis of the country.

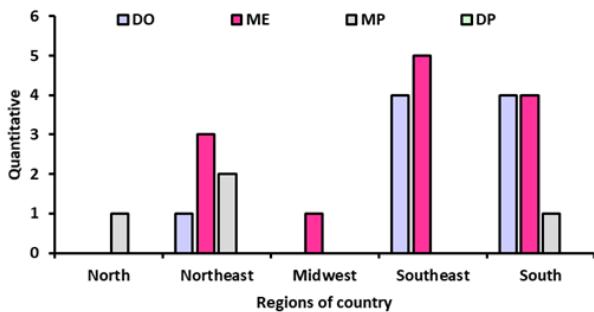


Figure 02: Distribution of PPG's Design at public universities from Brazil.
Source: Autors.

In addition to the presence of design programs by region, other data highlighting the limited availability in the northern region of the country can be found in the information registered in the DGP and Sucupira Platform regarding research conducted in public universities such as research groups, intellectual production, and research projects. In the search for design research groups conducted on the DGP portal, a total of 191 research groups in design were identified in public federal and state educational institutions.

In the search, the initial step involved examining the overall quantity of research groups in design registered in the broad field of applied social sciences, within the area of industrial design. Among the identified groups, the northern region, which encompasses seven out of nine states in the Brazilian Legal Amazon, showed a lower number of registered groups compared to other regions in Brazil. Only three (3) research groups were identified in the entire northern region, and this is a direct consequence of the low number of undergraduate and postgraduate programs in this region.

As for the collection of research projects registered on the Sucupira Platform, only research and extension projects were considered for this study. A total of 548 projects were identified, comprising 483 research projects and 65 extension projects. Similar to the previous categories in terms of low quantity, the northern region of Brazil had a total of 5 registered projects, combining research and extension, which accounts for 0.9% of all projects registered on the platform in the year 2021.

In the category of intellectual production, considering articles published in journals registered in the intellectual production in the year 2021 on the Sucupira Platform, a total of 220 articles published in that year were identified, considering the publication of all postgraduate programs of design in public institutions. In the northern region, only a total of 22 articles were identified, related to the sole postgraduate program in this region. This number of articles is equivalent to 10% of the total articles registered on the platform in the year 2021.

The northern region again has a low quantity when compared to other regions of the country, with the southeastern region having the highest quantity, equivalent to 45% of the intellectual productions for that year. However, in the northern region, despite exhibiting the lowest frequency of intellectual production (10%), this category showed a significantly higher percentage compared to the other variables in the same region, which ranged from 1% to 2%, revealing a remarkably positive performance in terms of scientific dissemination in that region.

From the quantitative data collection of the research groups, intellectual production and research and extension projects, the non-parametric chi-square statistical test of adherence was applied, for expected proportions equal, with a significance level of 5%. It was used to assess the distribution and frequency of a specific parameter. In this study, the application aimed to compare the regions of the country in terms of the quantity of research groups,

Variables	Country Region	Nº	F%	p
Research Groups	North	3	1,57	< 0.0001
	Northeast	55	28,8	
	Southeast	58	30,37	
	South	67	35,07	
	Midwest	8	4,19	
Intellectual Production (Articles in journals)	North	22	10	< 0.0001
	Northeast	29	13,2	
	Southeast	100	45,45	
	South	46	20,9	
	Midwest	23	10,45	
Research Projects	North	4	0,83	< 0.0001
	Northeast	131	27,12	
	Southeast	175	36,24	
	South	123	25,46	
	Midwest	50	10,35	
Extension Projects	North	1	1,54	< 0.0001
	Northeast	7	10,77	
	Southeast	28	43,07	
	South	7	10,77	
	Midwest	22	33,85	

Table 01: Profile of research and extension of design at the public university.
Source: Authors.

intellectual production, research projects, and extension projects, thus generating a profile of research in design in public university (Table 1).

In the application of the chi-square test, all variables showed a P-value lower than the significance level, indicating a significant difference in design research among the regions of the country. The northern region of the country has a low percentage for all the studied variables. Hence, it is possible to observe the low index of teaching, research, and extension in the field of design in this region of the country, and consequently in the Amazon region, given that the northern region encompasses nine (9) out of the seven (7) states of the Amazon region. There are only four (4) undergraduate programs and just two (2) postgraduate programs dedicated to the field of design in the Amazon region. Table 1 summarizes these data.

The low offer of design courses in public universities in the Amazon region is the result of the process of implementing design courses in Brazil. The creation of these courses across the national territory was due to industrialization and technological expansion in the 1940s and 1950s promoted by the government of Juscelino Kubitschek (MANHANINI, 2019). However, this expansion of productive industry in Brazil is distributed unevenly and selectively throughout the country (SILVA et al., 2020). With the technological and industrial expansion in Brazil, the first design courses were founded in the south-southeast axis of the country, such as the Escola Superior de Desenho Industrial (ESDI), the first design course in Brazil,

created in the state of Rio de Janeiro.

Design is a product of three major historical processes, according to Cardoso (2008): industrialization, urbanization with the concentration of population in major cities, and globalization. Therefore, the implementation of design in a particular region is a result of industrial and technological presence in that territory. Consequently, there is a limited availability of design courses in the northern region of the country, where, according to Colares et al. (2018), the states in this region stand out economically due to plant and mineral extraction, agriculture, and fishing.

The low frequency of design courses at universities in the Amazon region, both at the undergraduate and postgraduate (Stricto Sensu) levels, specifically master's and doctorate programs, is mainly due to the limited industrial presence in this region, as the predominant economic activities are extraction and agriculture. For the South and Southeast regions, according to the geographical distribution of industry provided by the industry portal, the states in the South-Southeast axis of Brazil had a higher share of the industrial GDP in 2019, regions with a greater presence of design courses and, consequently, more research and extension in this field of knowledge.

Another point to consider is the analysis of the sustainable approach in research in the design courses in the Amazon region. Sustainability is a growing and recurrent theme in the field of design due to its relationship with the industry and product development. Sustainability is also a significant theme for the Amazon region and its future prospects, as it aims to balance economic development with environmental and social factors. To analyze the sustainable approach in design research in these undergraduate and postgraduate programs, the recurrence of this theme in research groups, intellectual production, and research and extension projects was examined.

From the search of research groups on the DGP portal, where 191 research groups of design in public universities were identified, as previously mentioned, 38 research groups address sustainability as a research line. The search used the following terms: design and sustainability, eco-design, sustainable products, and design and sustainable development. In the northern region, out of a total of three (3) research groups in the field of design, two (2) groups have sustainability as a research line. In the entire Amazon region, out of a total of seven (7) research groups, (4) four have sustainability as a research line. In other words, more than half of the research groups in the northern region and the Amazon region have sustainability as a research line.

Regarding intellectual production in Stricto Sensu Postgraduate Programs of design (PPGs), in the year 2021, out of the 220 articles registered on the Sucupira Platform, 50 articles are from postgraduate programs located in the Amazon region, of which only eight (8) articles mention sustainability, corresponding to just 4% of the total articles produced in these PPGs in the Amazon region. In research and extension projects, out of 483 research projects, only 24 projects are from PPGs in the Amazon region, and of these, five (5) mention sustainability. In extension projects, out of 65 projects registered on the Sucupira platform in 2021, the Amazon region had only one (1) registered project, and this single extension project mentions sustainability.

Therefore, the low frequency of design courses in university in the northern and Amazonian regions, both at the undergraduate and postgraduate levels, has an impact on the training, improvement, and qualification of design professionals in this region. This, in turn, leads

to a lack of research in design, which is an important instrument for the expansion of education according to the National Curriculum Guidelines (DCN) for Undergraduate Design Courses or Resolution No. 5, dated March 2004.

Consequently, the study highlights the greater presence of design courses and, consequently, a higher number of research activities in the southern and southeastern regions (Figure 3), which, as indicated by Proença and Nenevé (2004), have historically and socially benefited, to the detriment of other regions of Brazil such as the northern region, which experiences a low frequency of design courses and postgraduate programs, impacting research and extension activities in design in this region.

The presence of public universities in the Amazonian region is crucial since the university acts as a mechanism for fostering the development of the region where it is located (HOFF et al., 2017). In addition to the presence of public universities, having design courses in universities in the Amazonian region is necessary for promoting

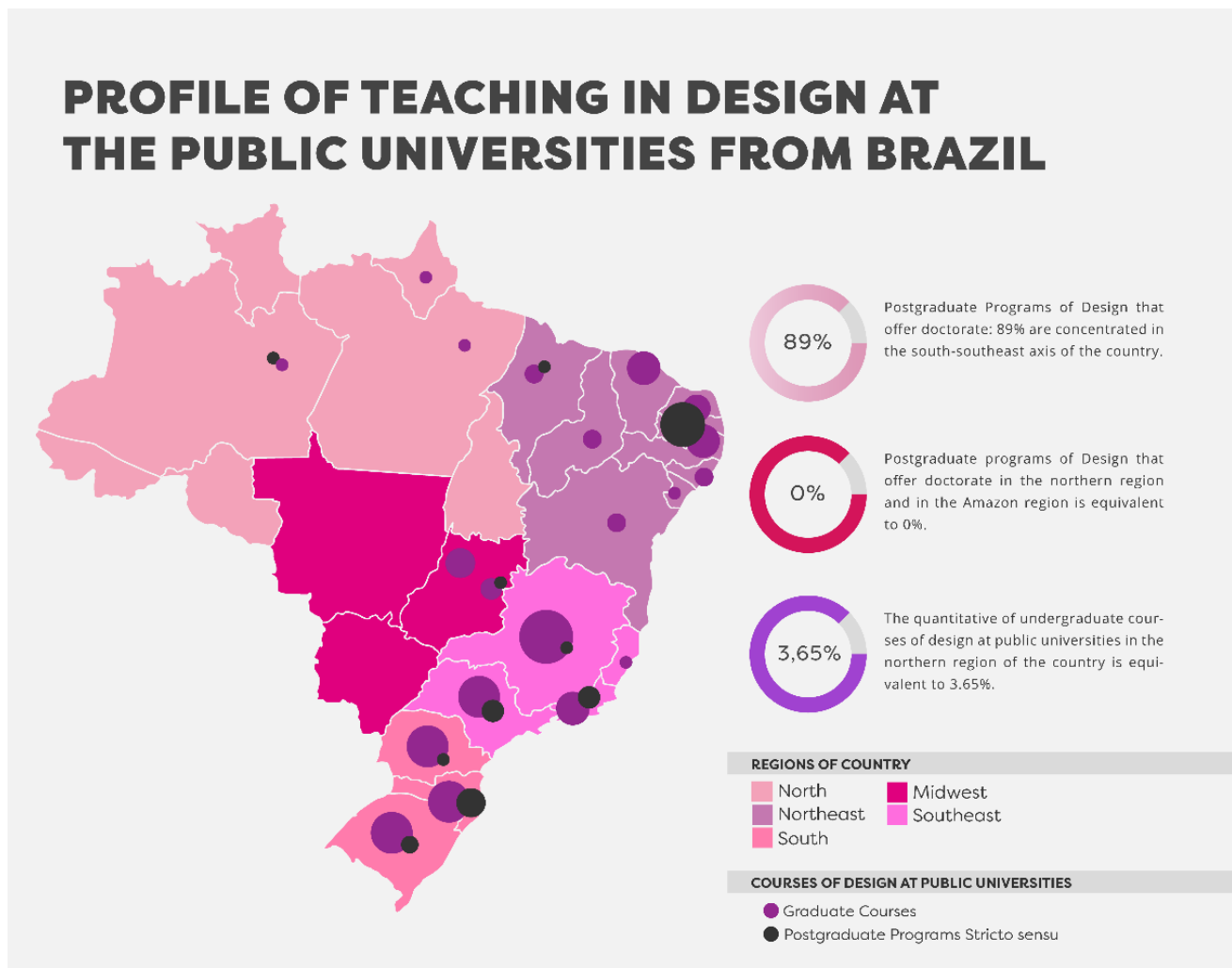


Figure 03: Design profile at public universities from Brazil.
Source: Autors.

regional development. This is because the field of design serves as an enabler for creating and innovating products and services related to the territory (KRUCKEN, 2009). Therefore, design plays a significant role in the development of the region through innovation and the promotion of local product and service creation. Strategic design, when employed in a specific territory, benefits producers and consumers, adds value to territorial and social capital, and establishes a sustainable perspective for regional development (ARRUDA; SILVA, 2017).

In addition to the presence of universities, another crucial aspect for the development of the Amazonian region is the teaching and practice of sustainability in university. The concept of sustainable development is defined as development that does not compromise the capacity of natural resources for future generations while considering environmental, social, and economic dimensions (CAVALCANTE et al., 2012). The concept of sustainable development is fundamental for the Amazon region, which boasts significant biodiversity and wealth of traditional knowledge derived from the people of the Amazon region (BARBOSA et al., 2021). It is crucial to consider sustainable use of its resources and the preservation of species and natural habitats in the development of the region.

4. CONCLUSION

Through this study, it is possible to visualize the profile of research and education in design in Brazil's public universities based on the number of undergraduate and postgraduate courses, research and extension projects, intellectual production (articles published in journals), and research groups registered in the e-MEC platform, Sucupira, and the Directory of research groups, respectively. Considering the collected information, regional disparities in research and education in design in the country are evident, with the numbers of research and education in the northern region of the country still being low when compared to other regions, such as the south and southeast.

Consequently, research and education in design in the Amazon region also show low numbers. This is because, out of the nine states in the Brazilian Legal Amazon, seven are part of the northern region. Moreover, among these nine states, only three offer undergraduate design courses, with just two of them having postgraduate programs, one being a master's program and the other a professional master's program, with no doctorate programs available. Furthermore, the entire Amazon region has only seven research groups in design registered in

the field of industrial design. Thus, despite comprising 64% of the Brazilian national territory, the region exhibits low figures concerning research and education in design within public universities.

Thus, there is a noticeable low frequency of design-related topics in the Amazon region as a whole, as well as the sustainability theme within the field of design in the Amazon region. This is due to the limited availability of design education, the low number of articles published in journals, and the lack of research and extension projects dedicated to these themes in the postgraduate design programs of this region. Nevertheless, regarding research groups, over half of the design research groups in the Amazon region have sustainability as their research focus.

Design in the university, concerning the university's tripod of extension, research, and teaching, exhibits significant disparities among Brazil's regions, especially when comparing the central-southern regions with the northern region, which encompasses most of the Amazon region. Considering that the implementation of design in Brazil is influenced by factors such as industrialization and urbanization, regions with a stronger presence of industry and services, historically and socially advantaged, tend to have a higher number of design courses at the university and, consequently, more research and extension projects, research groups, published articles, and others.

Regions that rely heavily on extractive industries, agriculture, and fishing, such as the northern region, have fewer design courses and, consequently, a lower number of research and teaching projects related to design. This includes areas like sustainable design and strategic design, which could contribute to the region's development. Therefore, there is a need to expand design programs in public universities in the Amazon region since the field of design can significantly contribute to the development and valorization of the Amazon territory.

REFERENCES

AGOPYAN, V.; ARBIX, G. A Universidade como fonte confiável para a formulação e o aperfeiçoamento de políticas públicas. **Estudos Avançados**, [S. l.], v. 36, n. 104, p. 285-298, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/194967>. Acesso em: 4 dez. 2022.

ANGÉLICO, A. M. D.; OLIVEIRA, M. C. M. (2017). O ensino do design no Brasil: currículos, ideologias e contemporaneidade. **Rev. Educ., Cult. Sociedade**, v.7, n.2, p. 605-615, out. 2017. Disponível em: <<http://sinop>

unemat.br/projetos/revista/index.php/educacao/article/view/2629>. Acesso em:

ARRUDA, J. V. de; SILVA, R. A valorização da identidade territorial e inovação sustentável: estratégias de competitividade, aplicados em polos moveleiros pernambucanos emergentes. **MIX Sustentável**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 93–99, 2017. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1826>. Acesso em: 12 dez. 2022.

BARBOSA, M. de O.; RIVAS, AAF.; OLIVEIRA, LA de.; BUENAFUENTE, SMF. Bioeconomia: um novo caminho para a sustentabilidade na Amazônia?. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 10, n. 10, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/18545>. Acesso em: 4 dec. 2022.

BRASIL. Resolução CNE/CES nº 5, 8 de maio de 2004. Aprova as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Design e dá outras providências. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, p. 24, 15 mar. 2004. CNE/CES 5/2004. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/rces05_04.pdf>. acesso em: 18 mar. 2023.

BURDEK, B. E. **Design, história, teoria e prática do design de produtos**. São Paulo: Blücher, 2010.

CAVALCANTE, A. L. B. L.; PRETO, S. C. S.; FIALHO, F. A. P.; FIGUEIREDO, L. F. G. de. Design para a Sustentabilidade: um conceito Interdisciplinar em construção. **Projetica**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 252–263, 2012. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/projetica/article/view/12384>. Acesso em: 4 dez. 2022.

CARDOSO, Rafael. **Introdução à história do design**. 3 ed. São Paulo: Blücher, 2008.

COLARES, M. L. I. S.; ASSIS, A. E. S. Q.; PEREZ, J. R. R. Dimensões a serem consideradas para a discussão de políticas educacionais na realidade amazônica. **Práxis Educacional**, [S. l.], v. 14, n. 27, 2018. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/praxis/article/view/2926>. Acesso em: 12 dez. 2022

DINIZ, R. L. Pós-Graduação em Design no Brasil: especificidades das regiões Norte e Nordeste. **Diálogo com a economia criativa**, [S. l.], v.3, n.7, p. 80-93, 2018.

Disponível em: <https://dialogo.espm.br/revistadcec-rj/article/view/147>. Acesso em: 10 out. 2022

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projeto de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2022.

GODDARD, J. A contribuição das universidades. In: SERRA, M.; ROLIM, C.; BASTOS, A. P. (Org). **Universidades e Desenvolvimento regional: as bases para a inovação competitiva**. Rio de Janeiro: **Ideia D**, 2018. p. 29 -30.

GOMES, R. P.; WOLFF, F.; RIBEIRO, V. G.; CORRÊA, Y. Design e conhecimento: uma revisão sistemática no periódico Design Studies. **Projetica**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 42–70, 2021. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/projetica/article/view/41121>. Acesso em: 12 dez. 2022.

HOFF, D. N.; PEREIRA, C. A.; DE PAULA, L. G. N. O impacto da universidade pública no desenvolvimento regional sob a luz da literatura internacional. **Redes**, v. 22, n. 1, p. 510-527, 31 dez. 2016. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/redes/article/view/5915>. Acesso em: 10 Out. 2022.

HSUAN-AN, Tai. **Design conceitos e métodos**.1 ed. São Paulo: Blücher, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Amazônia legal o que é [Site]**. 2020 Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>

KRUCKEN, Lia. **Design e território: valorização de identidades e produtos locais**. São Paulo: Studio Nobel, 2009.

KUWAHARA, N.; PEREIRA, H. A. A.; RUSCHIVAL, C. B. O Programa de Pós-Graduação em Design da UFAM: Status e Perspectivas. **DAT Journal**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 215–232, 2022. Disponível em: <https://datjournal.emnuvens.com.br/dat/article/view/581>. Acesso em: 12 dez. 2022.

LONA, M.T.; BARBOSA, A.M. Ensino de Design no Brasil: Formação das Escolas, Diretrizes Curriculares Nacionais e ENADE. **Jornal DAT**, [S. l.], v. 5, n.2, pág. 53–75, 2020. Disponível em: <https://datjournal.anhembi.br/dat/article/view/192>. Acesso em: 6 dec. 2022.

MANHANINI, M. A pedagogia da Bauhaus e sua difusão no Brasil - Bauhaus pedagogy and its diffusion in Brazil. **Transverso**, [S. l.], v.7, n.7, p. 40 -46, 2019. Disponível em: <https://revista.uemg.br/index.php/transverso/article/view/4395>. Acesso em:

NEVES, E. P. das et al. Panorama da pesquisa em Design no Brasil: a contribuição dos Programas de Pós-Graduação em Design nas pesquisas científicas e no desenvolvimento da área. **Arcos Design**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 78-95, jun. 2014. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/arcosdesign/article/view/13927>>. Acesso em: 08 dez. 2022.

PATROCÍNIO, G.; NUNES, J. M. **Design e desenvolvimento**. São Paulo: Editora Blucher, 2015.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **Perfil da Indústria Brasileira [Site]**. 2019. Disponível em: <https://industriabrasileira.portaldaindustria.com.br/grafico/total/producao/#/industria-total>. Acesso em:

PROENÇA, M.; NENEVÉ, M. Descentralizando a educação e diminuindo disparidades regionais: uma experiência brasileira bem-sucedida em pós-graduação. **Revista Brasileira De Pós-Graduação**, [S.l.], v.1, n.1, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.21713/2358-2332.2004.v1.9>. Acesso em: 14 dez. 2022

SEBRAE. O Design No Contexto Da Economia Criativa. Brasília: **Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas** – Sebrae, 2015.

SILVA, R. O.; MARQUES, M. D.; MATA, H. T. C. Atuação do BNDES e disparidades regionais: evidências da indústria de transformação entre 2000-2020. **Geosul**, [S.l.], v. 35, n. 74, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n74p132>. Acesso em: 08 set. 2022

SCHWAAB, K. S.; CERETTA, P. S.; DUTRA, V. R. Efeitos da educação sobre a renda: disparidades regionais. **Revista Expectativa**, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 144–166, 2017. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/expectativa/article/view/18349>. Acesso em: 12 dez. 2022.

SCHWARTZMAN, S. Pesquisa e Pós-Graduação no Brasil: duas faces da mesma moeda?. **Estudos Avançados**, [S. l.], v. 36, n. 104, p. 227-254, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/194964>. Acesso em: 12 dez. 2022

AUTHORS

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5836-4742>

LETÍCIA FARIA TEIXEIRA, Mestre | Universidade do Estado Pará | Design | Belém, Pará (PA) - Brasil | Correspondência para: Tv. Dr. Enéas Pinheiro 2626, Belém, PA, 66095-015 | Email: leticiafariatx@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9001-4603>

ALTEM PONTES NASCIMENTO, Doutor | Universidade do Estado Pará | Física | Belém, Pará (PA) - Brasil | Correspondência para: Tv. Dr. Enéas Pinheiro 2626, Belém, PA, 66095-015 | Email: altem.pontes@uepa.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

TEIXEIRA, Letícia Faria; NASCIMENTO, Altem Pontes. MIX Sustentável, v. 9, n. 10, p. 41-50, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: [_/__.doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.41-50>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.41-50).

SUBMETIDO EM: 29/07/2023

ACEITO EM: 08/11/2023

PUBLICADO EM: 16/01/2024

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRedit Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

LFT: conceituação, análise formal, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, administração de projetos, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

ANP: análise formal, aquisição de financiamento, administração de projetos, escrita - revisão & edição.

Conflict of interest: nothing has been declared.

ADDITIVE MANUFACTURING AND DISTRIBUTED RECYCLING: WASTE AS RAW MATERIAL IN THE DESIGN AND MANUFACTURE OF UTILITARIAN OBJECTS

MANUFATURA ADITIVA E RECICLAGEM DISTRIBUÍDA: O LIXO COMO MATÉRIA PRIMA NO DESIGN E FABRICAÇÃO DE OBJETOS UTILITÁRIOS

FABRICACIÓN ADITIVA Y RECICLAJE DISTRIBUIDO: LOS RESIDUOS COMO MATERIA PRIMA EN EL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE OBJETOS UTILITARIOS

JOÃO VICTOR CORREIA DE MELO, Dr. | PUC-Rio - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil

ABSTRACT

The first decades of the 21st century witnessed two major developments: the insertion of China into the global supply market and the popularization of the Internet. The most diverse segments of industry were affected by an avalanche of offers and falling prices of new machines and products, among them the Additive Manufacturing technologies. This technology allows production on a smaller scale and at lower values than traditional methods of producing artifacts. This connection, combined with the reuse of waste from local production, can revolutionize supply chains and circularity in the development and distribution of objects. This work demonstrates the development of an additive manufacturing system aligned to distributed recycling considering its impacts, advantages, disadvantages, and application possibilities in the Brazilian scenario, in terms of sustainability and circularity of the processes.

KEYWORDS

Additive manufacturing, recycling, Design, design for additive manufacturing, sustainability.

RESUMO

As primeiras décadas do século XXI testemunharam dois grandes acontecimentos: a inserção da China no mercado de fornecimento global e a popularização da Internet. Os mais diversos segmentos da indústria foram afetados por uma avalanche de ofertas e queda de preços de novas máquinas e produtos, entre eles as tecnologias de Manufatura Aditiva. Essa tecnologia permite a produção em menor escala e com valores mais baixos do que os métodos tradicionais de produção de artefatos. Essa conexão, aliada ao reaproveitamento de resíduos da produção local, pode revolucionar as cadeias de suprimentos e a circularidade no desenvolvimento e na distribuição de objetos. Este trabalho demonstra o desenvolvimento de um sistema de manufatura aditiva alinhado à reciclagem distribuída considerando seus impactos, vantagens, desvantagens e possibilidades de aplicação no cenário brasileiro, em termos de sustentabilidade e circularidade dos processos.

PALAVRAS-CHAVE

Manufatura aditiva; reciclagem; Design; Design para manufatura aditiva; sustentabilidade.



RESUMEN

Las primeras décadas del siglo XXI fueron testigo de dos grandes acontecimientos: la inserción de China en el mercado mundial de suministros y la popularización de Internet. Los más diversos segmentos de la industria se vieron afectados por una avalancha de ofertas y precios a la baja de nuevas máquinas y productos, entre ellos las tecnologías de fabricación aditiva. Esta tecnología permite la producción a menor escala y a valores más bajos que los métodos tradicionales de producción de artefactos. Esta conexión, combinada con la reutilización de residuos de la producción local, puede revolucionar las cadenas de suministro y la circularidad en el desarrollo y distribución de objetos. Este trabajo demuestra el desarrollo de un sistema de fabricación aditiva alineado al reciclaje distribuido considerando sus impactos, ventajas, desventajas y posibilidades de aplicación en el escenario brasileño, en términos de sostenibilidad y circularidad de los procesos.

PALABRAS CLAVE

Fabricación aditiva; reciclaje; Diseño; Diseño para fabricación aditiva; sostenibilidad.

1. INTRODUCTION

The democratization of technology, which includes the production of design, has a challenge for the coming years: to get closer to the real needs of its user, aiming to adapt to some specific purpose or use. The assimilation of this technology by society brings a new way of producing knowledge, and thus breaks the academic and mass production hierarchization, aiming at the application of new ideas and using again the tools, instruments, and artifacts, originated from the strong correlation with the notions of adequacy, use of natural resources, and their socio-cultural and economic appropriation.

According to McDonough and Braungart (2002), in the contemporary world, we not only have at our disposal several resources for the development of countless techniques, but we are also aware of the growing demand for the adoption of the current model of society that is economically and socially more sustainable. It is necessary, for example, to reduce the generation of non-biodegradable waste, reduce energy costs and implement the rational exploitation of natural resources. For Veiga (2010), the concept of sustainability is inseparable from the relationship between economy and ecology. Thus, the methods of use of natural resources must be balanced with the impacts that their use entails.

2. TECHNOLOGY AS AN ALLY

The end of the 20th century brought the world two amazing events: China becoming a key player in the global supply chain and the worldwide connection from the popularization of the internet. The industries, from the most diverse areas, were shaken by a great expansion of offers and falling prices of new machines and products, including 3D printing, or additive manufacturing (AM). Many local industries have collapsed and radically changed the way they produce. Another impact factor has been the power of the Internet that has enabled online trading and more niche methods of advertising and selling where the unit cost of production did not have to meet the pressures of scale and traditional logistics and distribution. Brought together by these two innovations came additive manufacturing that allows for production on a smaller scale and with much lower values than traditional methods of producing artifacts made of plastic (ANDERSON, 2013, DOS SANTOS et al., 2013; DOS SANTOS et al., 2019).

The democratization of manufacturing by making the technology available to individual entrepreneurs and the

general public drives the mindset shift and behavioral changes needed to move toward more sustainable modes of production and consumption (ANDERSON, 2013; CHEN et al., 2015; KOHTALA & HYYSALO, 2015). The use of additive manufacturing within networks of hobbyist designers and producers serves as a pocket of knowledge and creativity platforms for both AM and the Circular Economy (CE) (DESPEISSE, et al., 2016).

2.1. Additive manufacturing, economy, and conscious consumption

PETERSON & PEARCE (2017) demonstrate that using AM locally results in substantial savings for each product produced compared to its counterpart produced by traditional methods and available in current trade channels. The study points to an average marginal cost reduction of 93.3% and 98.7% when compared to the lowest and highest retail values, respectively, considering manufacturing one product per week. Comparing the printed objects with the equivalent lower priced product, there was a payback time of 2.4 years. Compared to the higher priced objects, the payback time was only 5 months. The return on investment was 25% in year 3 and 108% in year 5 when the low-cost values were considered. Comparing the printing costs with the high-priced commercial prices resulted in an ROI of 552% in year 3 and 986% in year 5.

An important point in this manufacturing logic is the growing trend of conscious consumption, a growing contingent of responsible consumers are considering environmental concerns in their purchasing decisions. By providing a means to make products, consumers develop a high level of responsibility and become more selective in their consumption. In addition, distributed AM represents an environmental benefit, due to reduced material use, transportation, and packaging disposal.

However, currently the market for AM raw materials remains highly concentrated. While plastic for AM is processed into filaments by several small and large companies, the raw material (the pellets) is supplied by a select group of large polymer producers. This stems from the current reality where polymer production from petrochemical and bio-based feedstocks is capital intensive, leading to high barriers to entry (WITTER, 2015). In these types of markets, the minimum efficient scale for production remains large (CHANDLER, 1990). This raises the question of the technical feasibility of producing materials distributed on a smaller scale. This is especially the case for recycled materials, as they require large, centralized processes to

convert mixed plastic waste into single polymers suitable for reuse. (DESPEISSE, et al., 2016, p. 6).

2.2. Additive Manufacturing and Recycling

Recent research has pointed to an increase in the attention given to technologies that can recycle waste plastics into AM, as well as the associated benefits. For example, a study by KREIGER et al. (2014) found that a distributed AM market supplied by distributed sources of recycled materials resulted in savings in embodied energy and carbon emissions compared to supply by a centralized recycling market when using single types of easily identifiable polymers (e.g., HDPE from beverage packaging).

By linking the environmental footprint of AM to the volume of material deposited, research suggests that energy efficient AM processes bring about cost savings by the technology operator that coincide with minimizing process energy and material consumption (BAUMERS et al., 2011). As discussed by LOVINS (1996) in the context of energy inputs, the alignment of cost efficiency with minimizing the environmental impact of the process forms an important enabler for minimizing resource consumption (DESPEISSE, et al., 2016)

This becomes feasible because, unlike conventional manufacturing technology, AM is a process capable of depositing complex product geometry in a single step of the manufacturing process. This means that processing and assembly activities can be limited, and very short supply chains are enabled, with an additional side effect of simplifying the measurement of resource consumption without having to consider long and complex supply chains (BAUMERS et al., 2013).

At the same time, these technologies could serve as the basis for developing new sustainable value propositions. For example, companies can identify several new sustainable ways to capture value by adopting a lean manufacturing approach, while reducing inventories and over-manufacturing by managing the production of spare parts on demand, closer to the point of consumption (BOGERS et al., 2016). There are also opportunities to increase efficiency and create value using AM for end-of-life parts, generating reuse cycles for worn components. The changing relationship between manufacturers and customers presents opportunities to transform the Circular Economy business model with a service model that includes localized repairs. (DESPEISSE, et al., 2016, p. 11)

While the ecological benefits of distributed manufacturing with AM can be substantial, they can be enhanced

using more sustainable materials. For example, distributed plastic recycling can be used to provide materials from local waste. The environmental life cycle analysis (LCA) conducted by BYARD, et al. (2019) on 3D printing filament manufacturing showed that the embodied energy of 3D printing filament could be reduced by 90% compared to traditional filament manufacturing. The results of this LCA study indicate that distributed HDPE recycling for rural regions is energetically favorable for both virgin resin use and conventional recycling processes. In the case study explored, embodied energy savings of 69 to 82 percent were found for distributed recycling compared to centralized recycling (BYARD, 2019). These results provide additional support for minimizing transportation distances for recycling to minimize environmental impact.

The concept of industrial metabolism, now widely known as industrial ecology (GRAEDEL, 2002), emerged in response to resource scarcity and the consequent rise in material cost. A key principle of industrial ecology considers sources and wastes of natural resources and promotes a regenerative use of resources where consumption should not exceed the rate of regeneration. Therefore, increasing manufacturing efficiency through process efficiency and recycling is key. Reducing material waste in the process and recycling are clear advantages with most AM technologies (DESPEISSE, et al., 2016).

3. MATERIALS AND METHODS

3.1. Research Trough Design

The present work followed established design research guidelines, specifically the "Research through Design" methodology. Research through design (RtD) is a method that utilizes design practice and design thinking, so that creativity and a critical eye present a product development process as a research model. In contrast to standard design practice, where efforts are focused on producing a commercially successful product, researchers engaged in RtD develop proposed objects to work on carefully posed questions (ZIMMERMAN et al., 2007).

The documentation of the design process has a preponderant role in this methodology. This practice leads to more accurate design decisions about the object because its classification allows for later appreciations and approaches, having the possibility to open new research paths. Design researchers, most of the time, adopt the double role of designers and researchers at different moments of the process. Thus, it is categorical that each step

of development is recorded in the design procedure because it will serve as a starting point not only for the next steps of the investigation, but also as a repository for future developments (DALSGAARD; HALSKOV; 2012).

3.2. Design for Additive Manufacturing - DfAM

Additive manufacturing (AM) is a key pillar of the proposed process, Design for Additive Manufacturing (DfAM) becomes a fundamental piece as a means of developing the work. DfAM refers to the process of designing a 3D model or product specifically for the purpose of being manufactured using an additive manufacturing process. The basic principles of DfAM include understanding the capabilities and limitations of the specific technology being used. (TANG & ZHAO, 2016).

A successful DfAM involves several important steps that must be followed to ensure optimal results. First, it is critical to fully understand the features and limitations. This involves considering factors such as resolution, layer thickness, and material properties to align the design process appropriately. (LEARY, 2020)

The next step is to design the model with the process to be used in mind. This involves considering crucial aspects such as orientation, support structures, and wall thickness to optimize the manufacturability of the part. Next, the 3D model file needs to be prepared for printing. This includes exporting the file in the appropriate format and ensuring proper orientation and sizing to facilitate continuous printing.

To print the model, you need to define the appropriate settings and parameters. Adjustments to the layer height and fill percentage, as well as other technology-specific settings, are critical to achieve the desired print result.

Finally, post-processing plays an important role in refining the printed part. It involves cleaning and finishing the surface, removing support structures, and performing additional steps such as sanding and painting to improve the final appearance and functionality.

Remember that it is critical to properly document and store the final design, noting down the settings and parameters used during the printing process to ensure consistent replication of successful results in future productions.

3.3. Distributed Recycling Techniques

Using new technologies to reduce energy consumption in the AM process itself is becoming increasingly important. There are some technologies that can be used in

distributed recycling through AM. Two of them present themselves as the most opportune.

The first is the same as that used in most affordable AM processes. Called fused filament fabrication (FFF), it operates the raw material indirectly. These filaments are produced from virgin plastic resins or plastics discarded by society, i.e., a pre-processing of the plastic is required. In this technology, the discarded plastic must be ground up and made into filaments prior to printing the parts.

The second skips a step, and instead of making the filament for manufacturing, one can directly use virgin pellets (small spheres as the resins are marketed) - or flakes of discarded materials - in a process known as FGF - fused granular fabrication.

To deepen the understanding of the limits of each one, this work opted to work on both paths and evaluate their pros and cons to propose guidelines and possibilities of application for each one.

Thus, a distributed recycling and additive manufacturing (DRAM) cell was set up to train the team and define the implementation and production strategies. This cell also served as the basis for defining the project requirements and constraints, which enabled basic product development.

4. THE OBJECT

Today there is a high incidence of visually impaired people in the world population who do not wear glasses due to their high cost. The manufacturing of these products in the current molds is very complex, massified and centralized in industrial poles. For being a very evident object, worn on the face of the user, it has also become a fashion accessory, and thus has become an item of a very complex universe that involves not only material costs, but also high values linked to the intangible, such as desire. This makes eyeglass frames in most cases more expensive than the lenses.

Based on this fact, we realize that the development of the frames with locally discarded material, but keeping key design standards, brings a reduction of this cost and, thus, a greater access to such an important item. In addition, these frames, besides having a direct impact on the lives of people who need such orthosis, are the starting point for a new production logic to be established.

The frames were developed to be adapted to additive manufacturing techniques, the key technology of the cell. The logic used was that of Design for Additive Manufacturing. This logic, as already discussed,

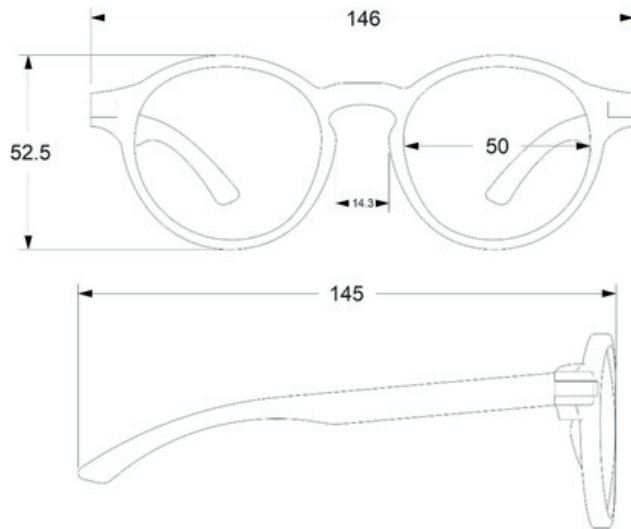


Figure 01: initial model based on market products.
Source: Authors.

optimizes the frame design to the techniques used in the cell, allowing a higher productivity, as well as a finishing quality, allowing the real use of the object without harmful consequences to the user.

An important point in the design of the frames was the search for the reduction of externally manufactured elements. The more elements produced internally, the greater the domain of the technique and the lower the production cost. In this way, the solution for the articulation between the stem and the frame itself was thought of in such a way as not to take any material other than plastic, and one that could be manufactured by means of AM. In this way, we arrived at a fitting solution that allows the opening and closing of the rods without the need for any externally produced elements such as hinges or hinges. This feature reduces the overall cost, manufacturing

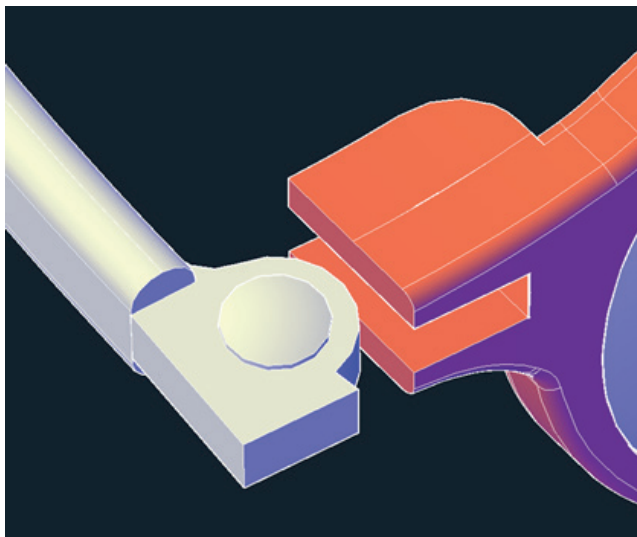


Figure 02: Fitting the rod.
Source: Authors.

time, and facilitates maintenance, since the joint allows the replacement of any damaged part without the need for special tools or skills, and the product can be customized, changing colors and sizes for example.

Products made by AM need very little, if any, finishing. This is especially true when using DfAM logics. One example is the way the frame and the stems are produced. Both are printed flat, parallel to the printer base. This avoids supports (support structures for printing), overhanging parts (which reduce the final quality of the part) and reduces printing time. Once ready, the parts are curved using heat on a template, also printed, ensuring the geometry required for the product's use. Finally, the printing parameters were defined for each technology to be used as well as for greater user comfort, ensuring the best surface quality, with the shortest possible printing time, material expenditure and energy consumption.

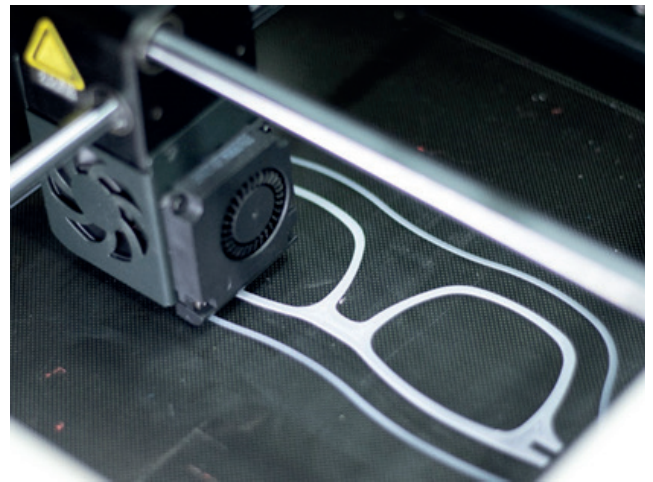


Figure 03 : FFF additive manufacturing.
Source: Authors.

5. EXPERIMENTS

5.1. Fused Granular Fabrication (FGF)

The first step was to work with the Fused Granular Fabrication technique. The choice was since it has one less step in the processing of the material. Instead of grinding the material, making the filament, and then printing, this technique allows printing directly from the pieces obtained after grinding. To use this technique, it was necessary to adapt an Ender 3 printer (made in China and one of the most popular on the market) with a FGF extruder made in Spain by the company Mahor XYZ.

It began with the use of the polymer poly-lactic acid, or PLA, a biodegradable and recyclable plant-based plastic. PLA has characteristics that make printing easier, making it



Figure 04 : FGF technique.
Source: Authors.



Figure 05 : Sunglasses printed with recycled PLA by FGF.
Source: Authors.

more popular than other polymers. So old prints, backing material, and failed prints were shredded and dried. The shredded, also called flake, was put into the printer adapted the FGF technique and thus printing was possible.

One point that drew attention was the coloration. When several flakes of different manufacturers and colors



Figure 06 :Fitting detail printed with recycled material.
Source: Authors.

are mixed, the flow is compromised due to the different pigmentation characteristics and additives contained in each one. Moreover, the final color ends up being a large mixture, tending towards gray. The use of flakes of the same color facilitates the repeatability of the extrusion parameters and, logically, causes the extrusion to have the same color (with small variations due to flakes of different prints and with small chromatic variations). This point was very important when defining the printing parameters. The variation of the material extrusion flow and the propensity to clog the nozzle, made it necessary to use a much thicker nozzle, going from the traditional 0.4mm nozzle to a 1.5mm one.

5.2. Fused Filament Fabrication (FFF)

The second technology used in the making of the frames was Fused Filament Fabrication. Different from the FGF technique, the FFF requires a filament manufactured within well-defined parameters. To this end, we used a filament manufacturing system manufactured in Brazil by the company Filmaq, composed of an extruder (with a 1.75mm matrix, the most common thickness in 3D printers on the market), a cooler/tractor and a spooling machine. An advantage of this technique is that it can be used with most printers on the market, without the need to adapt a different print head, as is the case with the FGF.



Figure 07 : Filament manufacturing process. Above: Filament manufacturing system. Below: From left to right: Introduction of virgin pellets and flakes; extrusion; filament ready for use.
Source: Authors.

As in the case of FGF, it was decided to start with PLA. At first, using virgin pellets and, little by little, introducing ground flakes from old and/or failed prints, until 100% recycled material was used. Filament manufacturing is quite simple in theory; however, practice is different. There are many variables (temperature, cooling, pulling speed) and a key point is to get the extruded filament to have a constant diameter.

The next step was to introduce a material that has a more common disposal: ABS. This polymer was chosen since it is a plastic discarded a lot in Rio de Janeiro, the place where the work takes place, and with little outlet for collectors and cooperatives, having a very low purchase value: about 0.02 USD. However, ABS is widely used as a raw material for additive manufacturing.



Figure 08: Printing with recycled PLA filament and Glasses printed with filament made from recycled PLA.
Source: Authors.

Another point to observe about ABS is that it needs more temperature to be worked, however, it has fluidity characteristics that make it a little easier to extrude than PLA. This ease of work speeded up the development of the process, which also started with virgin pellets; however, knowing a little more about the equipment and the process, it was easier to introduce flakes.

To validate the logic as an imminently circular process, real elements were sought for an experimental cycle. Thus, a discarded part using ABS was used. A vacuum cleaner casing was collected in a disposal area, the markings relating to the type of plastic were checked, and then the casing was shredded. The flakes were sieved (to eliminate

very large pieces) and dried in an electric oven. The humidity makes the extrusion process exceedingly difficult. After this stage, these flakes were taken to the filament manufacturing system and about 300g were extruded.

Some frames were printed with very promising results. A slight need to increase the flow was necessary due to a greater variation in the overall diameter of the filament (which fluctuated between 1.6mm and 1.8mm). In general, the quality and resistance of the pieces was very close to that of industrially produced filaments. The coloration was quite uniform when using flakes of the same object.



Figure 09: Preparing a discarded part for filament extrusion.
Source: Authors.

6. DISCUSSION

The FGF technology proved to be quite complex for making a small product such as an eyeglass frame. Many issues with the flow of the material arose, either from different additives and dyes, or from small dirt particles found in the recycled material. The use of a thicker nozzle facilitates the flow of the material, preventing clogging. However, the downside is that it leaves a very rough finish, as can be seen in Figure 02. In addition, the printing speed needs to be reduced, limiting the productivity of the machine. Another point is the cost of FGF technology. Despite cutting one step - filament manufacturing - printers on the market with FGF-ready heads are much more expensive than standard 3d printers (costing at least ten times more). It is possible to adapt a FGF print head to inexpensive printers in the market. However, this head costs more than the printer itself and requires expertise not only for the mechanical assembly work, but also for reconfiguring the printer's firmware.

In this regard, working with FFF technology proved to be more interesting in the case of eyeglass frames, but



Figure 10: Final model produced by FFF, with recycled ABS polymer.
Source: Authors.

not without some points to consider. The work of parameterizing all the variables and obtaining the ideal filament for printing was quite arduous. However, when the parameters were reached, the process was very smooth and with a good repeatability. The moisture is another point to be aware. The material needs to be let to dry before the use to have a better filament. The moisture causes a lot of bubbles, which drops the quality and, in some cases, made the material impossible to print.

With the product manufactured by FFF, it was possible to compare costs, as well as demonstrate its advances towards greater circularity, sustainability, and economic competitiveness. For example, the material used in the confection, ABS, has a low sale value to collectors (around 0.02 USD per kilo). The frame developed uses about 10g of this material and between the command to start printing and the finished product it takes about 50 minutes, spending about 0.32 kWh in the entire process. The unit cost, based on these data and the study done by PETERSEN & PEARCE (2017), is 0,20 USD. The selling price of similar frames is around 20,00 USD. Thus, the potential gross return on this frame would be about one thousand times greater than the direct resale of the plastic, and one hundred times greater than the unit cost of manufacturing. These

numbers corroborate the commercial, circular, and low-impact potential of this process.

7. CONCLUSION

The research on polymer recycling for additive manufacturing in the Brazilian scenario is increasing importance. With high potential for economic return and circularity as a central element, distributed recycling solutions allow local manufacturing from nearby discards with low commercial value, which facilitates the readjustment of the supply chain and the inclusion of social groups as key actors such as collectors and cooperatives, thus supporting the local economy and the reduction of solid waste in the areas of operation.

REFERENCES

ANDERSON, C., (2013). **Makers: The New Industrial Revolution**. Random House Business, London.

MCDONOUGH, B., BRAUNGART, M. 2002, **Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things**. ISBN-10: 0865475873. North Point Press. USA

BAUMERS, M., TUCK, C., BOURELL, D.L., SREENIVASAN, R., HAGUE, R. (2011). Sustainability of additive manufacturing: measuring the energy consumption of the laser sintering process. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: **Journal of Engineering Manufacture**, 225(12), 2228–2239.

BAUMERS, M., TUCK, C., WILDMAN, R., ASHCROFT, I., ROSAMOND, E., HAGUE, R. (2013). Transparency Built in. **Journal of Industrial Ecology**, 17(3), 418–431.

BIRCHNELL, T., & HOYLE, W. (2014). **3D Printing for Development in the Global South: The 3D4D Challenge**. Basingstoke: Palgrave Macmillan.

BOGERS, M., HADAR, R., BILBERG, A. (2016). Additive manufacturing for consumer-centric business models: Implications for supply chains in consumer goods manufacturing. **Technological Forecasting & Social Change**, 102, 225–239.

BYARD, D. J., WOERN, A. L., OAKLEY, R. B., FIEDLER, M. J., SNABES, S. L., & PEARCE, J. M. (2019). Green Fab Lab Applications of Large-Area Waste Polymer-based

Additive Manufacturing. **Additive Manufacturing**, 27, pp. 515-525.

CHANDLER, A.D. (1990). **Scale and Scope: The Dynamics of Industrial Capitalism**. Cambridge MA: Harvard University Press.

CHAVES, Luís de Gonzaga Mendes, (1971). Minorias e seu estudo no Brasil. **Revista de Ciências Sociais**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 149-168

CHEN, D., HEYER, S., IBBOTSON, S., SALONITIS, K., STEINGRÍMSSON, J.G., Thiede, S., (2015). Direct Digital Manufacturing: Definition, Evolution, and Sustainability Implications. **Journal of Cleaner Production**, 107, 615-625.

DALSGAARD, Peter; HALSKOV, Kim. Reflective design documentation. In: **Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference**. 2012. p. 428-437.

DESPEISSE, M., BAUMERS, M., BROWN, P., CHARNLEY, F., FORD, S. J., GARMULEWICZ, A., ROWLEY, J. (2016). Unlocking value for a circular economy through 3D printing: a research agenda. **Technological Forecasting & Social Change**, p. 49.

DOS SANTOS, J., BRANCAGLION JUNIOR, A., WERNER JUNIOR, H., & AZEVEDO, S. (2013). **Tecnologias 3d: desvendando o passado e modelando o futuro** [3d Technologies: unraveling the past and shaping the future]. Brazil: lexikon editora digital.

DOS SANTOS, J., WERNER JUNIOR, H., AZEVEDO, S., & BRANCAGLION JUNIOR, A. (2019). **Seen / Unseen**. Brazil: rio books.

DOS SANTOS, J. R., CORREIA DE MELO, J. V., FRAJHOF, L., & KAUFFMANN, A. R. (December de 2020). Confronting COVID-19 - The case of PPE and Medical Devices production using Digital Fabrication at PUC-Rio. **SDRJ - Strategic Design Journal**, p. 14.

GRAEDEL, T.E., Allenby, B.R., (2002). **Industrial ecology**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.

GUSMÃO, G. (2004). "Rua dos Inventos", Invention street. **A arte da sobrevivência • The art of survival**. Rio de Janeiro: IBM.

ILLICH, I. (1976). **A Convivencialidade**. Lisboa: Publicações Europa-América.

LEARY, M. (2020). Chapter 3 - Digital design for AM. Em M. LEARY, Additive Manufacturing Materials and Technologies: **Design for Additive Manufacturing** (pp. 33-90). Oxford: Eselvier.

LOVINS, A.B. (1996). Negawatts: Twelve transitions, eight improvements and one distraction. **Energy Policy**, 24(4), 331-343.

KOHTALA, C., HYYSALO, S., (2015). Anticipated environmental sustainability of personal fabrication. **Journal of Cleaner Production**, 99, 333-344.

KREIGER, M., ANZALONE, G., MULDER, M., GLOVER, A., & PEARCE, J. (27 de Fevereiro de 2013). Distributed Recycling of Post-Consumer Plastic Waste in Rural Areas. **MRS Online Proceedings Library**, 1492, 101-106.

PETERSEN, E., & PEARCE, J. (2017). Emergence of Home Manufacturing in the Developed World: Return on Investment for Open-Source 3-D Printers. (MDPI, Ed.) **Technologies**, 5(7), p. 15. doi:10.3390/technologies5010007

TANG, Y., & ZHAO, Y. (18 de Abril de 2016). A survey of the design methods for additive manufacturing to improve functional performance. **Rapid Prototyping Journal**, p. 21.

ZIMMERMAN, J., Forlizzi, J., & Evenson, S. (2007). Research through design as a method for interaction design research in HCI. **Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems**, 493-502.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks the following partners and agencies for supporting this research: Irmãos Azevedo Fabricação de Acessórios LTDA - Maré, Centro Integrado de Estudos e Programas de Desenvolvimento Sustentável - CIEDS and Shell Iniciativa Jovem, Cooperativa Recicla Rocinha, Associação TMJ Rocinha, Diagnósticos da América S.A. - DASA, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro - PUC-Rio, Carlos Chagas Filho Foundation for Research

Support of the State of Rio de Janeiro - FAPERJ, and the National Council for Scientific and Technological Development - CNPQ.

AUTHORS

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7929-8596>

JOÃO VICTOR AZEVEDO DE MENEZES CORREIA DE MELO, Doutor em Design. | PUC-Rio | Design | Rio de Janeiro, RJ - Brasil | Correspondência para: R. Marquês de São Vicente, 225, Laboratório de Biodesign, Edifício Cardeal Leme, Gavea CEP 22451-900 | E-mail: jvictor@puc-rio.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

CORREIA DE MELO, João Victor. MIX Sustentável, v. 9, n. 10, p. 51-61, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mix-sustentavel>>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.41-51>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.41-51).

SUBMETIDO EM: 31/07/2023

ACEITO EM: 16/11/2023

PUBLICADO EM: 08/01/2024

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRediT Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

JVCM: conceituação, curadoria de dados, análise formal, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, administração de projetos, supervisão, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

Conflict of interest: nothing has been declared.

CHALLENGES OF ENVIRONMENTAL MONITORING WITHIN THE INTEGRATED RECYCLING COMPLEX OF THE FEDERAL DISTRICT/DF

OS DESAFIOS DO MONITORAMENTO AMBIENTAL DO COMPLEXO INTEGRADO DE RECICLAGEM NO DISTRITO FEDERAL

LOS RETOS DEL MONITOREO AMBIENTAL DEL COMPLEJO INTEGRADO DE RECICLAJE EN EL DISTRITO FEDERAL

ROBERTA CAROLINA ASSUNÇÃO FARIA, Master | UnB - University of Brasília, Brazil

ERONDINA AZEVEDO DE LIMA, PhD | UFMT - Federal University of Mato Grosso, Brazil

EDUARDO JONATHAN RAMOS E SILVA SAMPAIO, Master | UnB - University of Brasília, Brazil

CAIO FREDERICO E SILVA, PhD | UnB - University of Brasília, Brazil

ABSTRACT

The Federal District Integrated Recycling Complex (CIR-DF) contributes significantly to reducing the environmental impact of the waste produced by the metropolis of Brasília, as it provides for the recycling of materials that would otherwise be taken to landfills and employs around 450 collectors. That said, this work sought to monitor the air quality of the CIR/DF shed spaces, checking the concentration of CO₂, temperature, and humidity, in the period of intense heat and drought, relating the data with measures of adaptive comfort in order to contribute with space management. The results showed that the CO₂ concentration is below 3,900 ppm in 48 hours per week indicated by NR 15 from 2022. The temperatures verified between the six monitored days are, for the most part, below 50 % of the comfort zone and the humidity data are also below the 40 % limit indicated by NR 17 from 2022. Thus, the Complex faces challenges related to the internal environmental comfort of the sheds, which can be improved by applying strategies for air renewal that are more appropriate to the location.

KEYWORDS

Air quality; CO₂ concentration; climate monitoring; urban climate; recycling; HOB0 sensor.

RESUMO

O Complexo Integrado de Reciclagem do DF contribui significativamente para a redução do impacto ambiental do lixo produzido pela metrópole brasiliense, pois, proporciona a reciclagem de materiais que seriam levados para aterros sanitários, além de empregar cerca de 450 catadores. Posto isso, este trabalho buscou monitorar a qualidade do ar dos espaços de galpão do CIR/DF, verificando a concentração de CO₂, temperatura e umidade, no período de intenso calor e seca, relacionando os dados com medidas de conforto adaptativo a fim de contribuir com a gestão do espaço. Os resultados apontaram que a concentração de CO₂ está abaixo de 3.900ppm em 48h semanais indicados pela NR 15 form 2022. As temperaturas verificadas entre os seis dias monitorados estão, em sua maioria, abaixo de 50% da zona de conforto e os dados de umidade também estão abaixo dos 40% limite indicados pela NR 17 de 2022. Dessa forma, o Complexo enfrenta desafios relacionados ao conforto ambiental interno dos galpões, o que pode ser melhorado aplicando estratégias para a renovação do ar mais adequadas ao local.



PALAVRAS-CHAVE

Monitoramento ambiental; reciclagem; qualidade do ar; salubridade.

RESUMEN

El Complejo Integrado de Reciclaje del Distrito Federal contribuye significativamente a la reducción del impacto ambiental de los residuos producidos por la metrópolis de Brasilia, ya que recicla materiales que de otra forma serían llevados a vertederos, además de emplear a cerca de 450 recicladores. Dicho esto, este estudio pretendía monitorizar la calidad del aire de los espacios del cobertizo del CIR/DF, comprobando la concentración de CO₂, la temperatura y la humedad en periodos de calor intenso y sequía, relacionando los datos con medidas de confort adaptativo para contribuir a la gestión del espacio. Los resultados mostraron que la concentración de CO₂ está por debajo de 3.900ppm en la semana de 48 horas indicada por el formulario NR 15 de 2022. Las temperaturas en los seis días monitorizados están en su mayoría por debajo del 50% de la zona de confort y los datos de humedad también están por debajo del límite del 40% indicado por la NR 17 de 2022. En consecuencia, el Complejo enfrenta a retos relacionados con el confort ambiental interno de las naves, que podría mejorarse aplicando estrategias de renovación del aire más adecuadas para el emplazamiento.

PALABRAS CLAVE

Monitoreo ambiental; reciclado; calidad del aire; salubridad.

1. INTRODUÇÃO

The impacts caused as a result of the constant changes in the climate are observed in several natural, managed and human systems; examples include rainfall cycles, fishing, agriculture, tourism, heat-related mortality and others. In this context, it is estimated that anthropogenic activities caused an increase of 1.0°C above pre-industrial levels and is projected to reach levels of 1.5°C from 2030 to 2052 (IPCC, 2022). This rise in temperature fosters risks for the survival of human beings in issues such as food insecurity, water supply crises, health crises and economic growth, with the most severe impacts aimed at vulnerable populations (Ribeiro, 2008).

Greenhouse gas (GHG) emissions, considered the main cause of climate change (Braga, 2012), are mostly originated by urban activities such as transport, construction, industry, and energy consumption (BAI et al., 2018; Birol, 2010; Crippa et al., 2021). In addition, the urbanization of cities is growing, since, in 2019, 55% of the population lived in urban territory, as indicated by data from UNDESA (2019). The increase is expected to reach 68% by 2050 (Espíndola; Ribeiro, 2020). Therefore, there is an emergency, need to conduct the policies of cities to mitigate and adapt to climate change.

With regard to the planning of cities for mitigation and adaptation of climate change, carrying out more studies that provide consistent databases on the climatic aspects of urban areas to enable more objective and effective actions is essential. Therefore, monitoring data have been used to support research that analyzes air quality through sensors adapted to urban or rural environments, making it an important tool to enable data collection in an accessible way (Keys; Mota, 2020).

One of the urban activities that contribute to the increase in air pollution is waste. According to SEEG (2020), in 2019, the sector was responsible for releasing 96.000.000 tons of carbon dioxide, with the majority (65%) of emissions being incited by the disposal of waste in controlled landfills, dumps and sanitary landfills. Brazil, in 2014, produced about 70.000.000 tons of Urban Solid Waste (MSW) (Abrelpe, 2014), which are composed of numerous varied materials from households, urban cleaning, commerce, sanitation, industries, health, construction, transportation and mining (Colling; Dubeux, 2015).

The Federal District hosted one of the largest open dumps in Latin America, also known as the Structural Dump, which received 830,055 tons of solid waste in 2016 (SLU, 2016). However, in 2015 the activities of

closing the dump began, which was effectively closed in 2018 (Brasil, 2015), giving rise to the inclusion of new waste treatment spaces that support the generation of jobs and that, as is the case of the Integrated Recycling Complex of the DF, were recently inaugurated in 2020 (Sema, 2020).

Therefore, linking the necessary mitigation and adaptation work to climate change in urban areas, especially in areas of greater environmental vulnerability, this article proposes a monitoring of air quality, focusing on the evaluation of CO₂ concentration, of the shed space of the Integrated Recycling Complex of the Federal District, which will be done with the Hobo Mx CO₂ Logger sensor. Air pollution is linked to the emission of solid, liquid, or gaseous particles, harmful to the environment and humans, and they are classified as natural and anthropogenic sources (Williams et al., 2014).

The anthropogenic sources, coming from man, are due to industrial activities, transportation, solid waste, and others (Vallero, 2007), which release gases that contribute to the increase in the emission of greenhouse gases (GHG). These are the gases: carbon dioxide (CO₂), which is responsible for 60% of the greenhouse effect; methane (CH₄), responsible for 15% to 20%; nitrogen dioxide (NO₂), corresponding to 6% of emissions; chlorofluorocarbons (CFCs), responsible for up to 20% and O₃, participating in the greenhouse effect in 8% (Huet, 2014).

In addition to observing the concentration of CO₂ in anthropogenic activities, as a way to understand the impact of certain activities on the environment, carbon dioxide can be monitored as a way to evaluate ventilation rates, defining the amount of outdoor air that mixes with the indoor air of an environment. Understanding the concentration of this gas also makes it possible to determine the presence of other pollutants (Presily, 1996; Carmo, n.d.; Prado, 1999). According to Jensen and Schafer (1994), the amount of particulate matter in a healthy indoor environment is usually less than that in the external environment. However, without the use of air renewal control strategies in an indoor environment, it can achieve higher pollutant values than the external air (Higaskino; Figel; Yamada, 2007; Schirmer et al., 2011).

Among the climatic elements that influence the user's feeling of comfort are the temperature and humidity of the air (Assis, 1990). The temperature variation is linked to the arrival of solar radiation and the energy change involved in the release of heat (Vianello and Alves, 1991), this element being the most perceptible to humans (Borges, 2009). It can be assumed that air humidity is lower in cities due to the phenomenon of heat islands, and, in turn, humidity plays an

important role in promoting the evaporation of the environment. In addition, air displacement along with air humidity strongly influences thermal comfort, as they are related to heat loss by evaporation (Corbella; Yannas, 2003).

Adaptive thermal comfort, a theory that relates indoor temperature to outdoor air temperature, to verify comfort indices (De Dear; Brager, 1998; Humphreys; Nicol, 1998; Nicol; Humphreys, 2002; Humphreys, 2002; Humphreys; Rijal; Nicol, 2013) is the analysis used by Ashrae 55, normative that supports studies on thermal comfort. The neutral indoor air temperature rises as the average outdoor temperature increases (Buonocore, 2018). In addition, the adaptive model focuses on studying naturally ventilated buildings (Rupp; Ghisi, 2019), as is the case with the CIR sheds. The main objective of this research is to present the monitoring of the levels of CO₂ contraction, temperature, and humidity in the sorting area of the shed. For this, it is evaluated whether the results obtained are plausible with the requirements of Regulatory Standard 15 - unhealthy activities and operations from 2022, Ashrae 55 and Regulatory Standard 17 – Ergonomics from 2022.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Characterization of the study site

2.1.1. Local Weather

The climate of the Federal District, where the object of study is inserted, is marked by two distinct seasons, namely: a dry winter and a hot and humid summer (IBRAM, 2012). According to the Köppen classification, the Cidade da Estrutural, headquarters of the DF Integrated Recycling Complex, is part of the tropical climate of Altitude Cwa,

whose temperature in the coldest period is below 18°C, with an average below 22°C, at the hottest time of year (Codeplan, 2020). Corroborating this information, Romero (2002) classifies the climate of Brasilia as high altitude tropical, which allows the DF territory an excellent degree of ventilation rates.

2.1.2. DF Integrated Recycling Complex

Located in the Complementary Industry and Supply Sector (SCIA), the DF Integrated Recycling Complex (CIR/DF) is inserted in the context of the Structural City, a region that encompassed one of the largest dumps in Latin America (Figure 01). After a series of measures by the government of the Federal District, from 2009 to 2018 (Capelari et al., 2020), the situation not only culminated in the closure of the dump, but also fostered the creation of the CIR, the current employment generation pole for collectors from the old landfill. The Complex, which went into operation at the end of 2020, currently consists of two sorting warehouses, parallel to each other, and another commercialization warehouse, occupying an area of 80.000 m², which, in its beginning, housed between 450 and 500 collectors of recyclable materials (Ferraz, 2020) (Figure 02).

The activities carried out in the space of the warehouses begin with the arrival of waste by trucks, in the north part of the building and in the area for the disposal of selected material. This waste is placed in containers in the basement and transported to the sorting mats, which are on the upper floor, where the materials are separated by the collectors. The selected materials, such as plastic and glass, are sent to storage silos, known as bags, located on the ground floor of the warehouse, which also



Figure 01: Location map and aerial view of the CIR/DF study area.

Source: adapted from Google Maps and LaSUS/UnB, 2023.



Figure 02: Images of the sheds and facade of shed 1.
Source: LaSUS/UnB and Authors (2023).

houses the pressing area, secondary separation of recyclables and deposit of discarded material. Discarded material is taken to containers and redirected to landfills. The materiality of the building is composed of structural masonry and metallic structure, with fixed openings in the walls in matte transparent polycarbonate and with openings close to the roof that allow the renewal of hot air from inside the environment (Figure 03).

And the pickers from the recycling cooperatives, users of the building, for the most part, wore long-sleeved blouses, long pants, socks, boots, masks, and gloves.

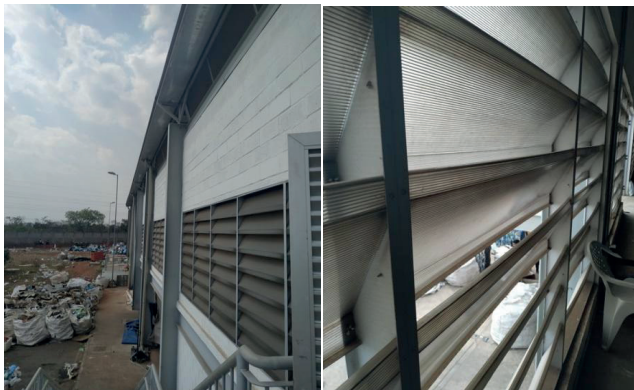


Figure 03: Facade with openings in the shed.
Source: LaSUS/UnB and Authors (2023).

2.1.3. Characterization of Monitoring

Monitoring was carried out in the two sheds between September 16 and 22, 2021, recording new data regarding temperature, humidity, and CO₂ concentration every 5 minutes, using the HOBO Mx CO₂ Logger sensor. The two HOBO sensors were installed 1.50 m from the floor on the upper floor of each shed, in the central-south part of the building, where the sorting activities are located on the mats, as shown in Figure 4 and 5 below:

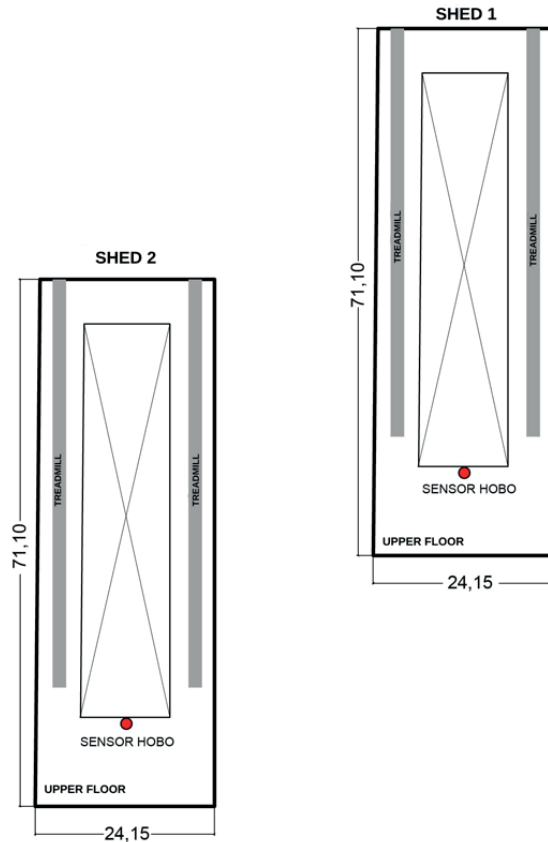


Figure 04: HOBO sensor location (floor plan).
Source: graphic produced by the authors.

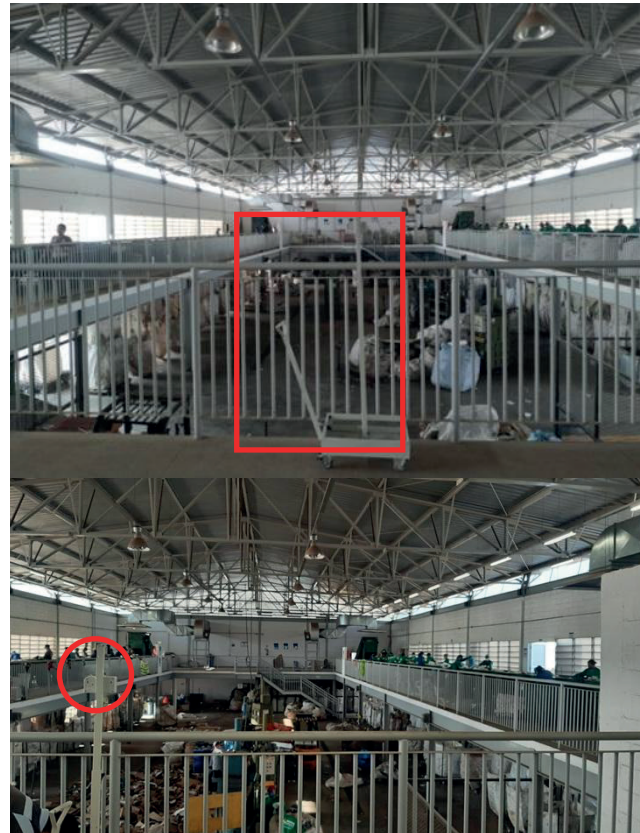


Figure 05: HOBO sensor location (photos).
Source: graphic produced by the authors.

3. RESULTS

In September 2021, according to INMET (2021), the analysis period of this research, the DF reached a maximum temperature of 35.4°C, on 09/22, at 4 pm, and a minimum of 13.8°C, on 09/04, at 09:00 am, as shown in the graph below, reaching a minimum humidity of 11%, on 09/19, at 04:00 pm.

The results obtained from monitoring the two sheds were organized into 03 shifts, namely: i. night (21:05-23:55), ii. Work shift (07:00-21:00) and iii. Early morning (00:00-06:55), considering that only on 09/19, Sunday, there would be no work shift.

The result obtained in shed 1 shows a maximum temperature of 34.5°C, on 09/20 (Monday), during the work shift, specifically at 2:20 pm. In addition, the minimum humidity reached in shed 1 was 13.69%, on 09/19 (Sunday), at 12:25 and 12:35. Regarding the CO2 concentration, the maximum of 552ppm was observed on 09/21, during the night, more specifically at 9:50 pm, in shed 1 (Figure 06).

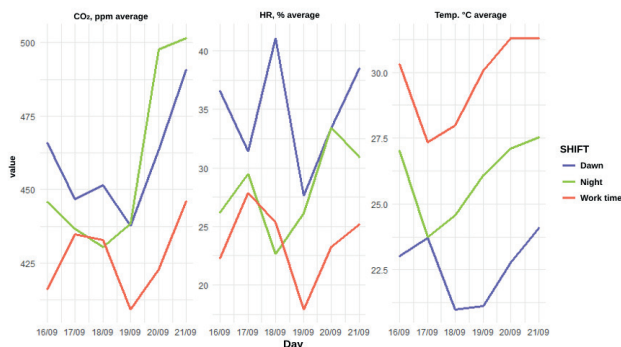


Figure 06: Shed 1 (Temperature, Humidity, and average CO2).
Source: graphic produced by the authors (2023).

In shed 2, the maximum temperature reached was 34.7°C, on 09/21 (Tuesday) at 2:50 pm, and the minimum humidity was observed at 13.67%, on 09/19 (Sunday) at 12:35. In shed 2, it was also observed that the maximum CO2 was 555ppm, manifested on 09/21, at 21:55 (Figure 07).

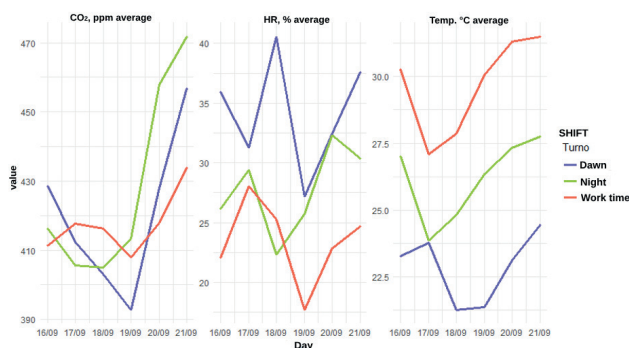


Figure 07: Shed 2 (Temperature, Humidity, and average CO2).
Source: graphic produced by the authors (2023).

According to Regulatory Norm (NR) 15 – Unhealthy Activities and Operations, from 2022 the maximum limits of worker exposure to CO2 concentration is 3,900ppm for 48h/week. However, bearing in mind that the working hours of CIR employees vary from 24h to 36h a week, the limit concentration of 2,925ppm was considered in this work, which considers the maximum of 36 hours a week of work. The observed result of CO2 concentration in the five days of work is below that mentioned by the standard. The temperature variable was analyzed according to ASHRAE 55, using the De Dear and Brager model (Pereira; Assis, 2010), with the equation below, to understand the level of thermal adaptive comfort of the sheds:

$$T_n = 0,310 \times T + 17,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Being:

- I) T_n = neutral temperature
- II) T = external temperature, in this case obtained by INMET
- III) With T_n +/- 3.5°C (80% acceptability)

The results were calculated from the hourly data and the comfort level of the six monitored days, resulting in the following sample:

SHED 1						
	16/09/21	17/09/21	18/09/21	19/09/21*	20/09/21	21/09/21
Comfort	29%	46%	33%	25%	21%	21%
Discomfort	71%	54%	67%	75%	79%	79%
SHED 2						
	16/09/21	17/09/21	18/09/21	19/09/21*	20/09/21	21/09/21
Comfort	29%	50%	42%	25%	21%	21%
Discomfort	71%	50%	58%	75%	79%	79%

Table 01: Percentage of thermal comfort per day.
Source: graphic produced by the authors (2023).

With regard to humidity, the NR 17 from 2022 was used as a basis for evaluating the levels of humidity in spaces dedicated to work activities, which indicates the ideal limits between 40% and 60% of humidity per day. According to what is presented in Table 1, the evaluated results of the monitored humidity are all below the recommended by NR 17 form 2022 in most of the hourly data analyzed in the two sheds. Climate monitoring

is one of several data generation methods to support climatological studies (Chaves; Mota, 2020), in order to contribute to actions to adapt and mitigate climate change, a topic that is currently so debated. The results obtained indicated that the CO₂ concentration was within the national normative standards, however, the two sheds presented levels of thermal discomfort. It is important to highlight that the CO₂ concentration was higher at night in both sheds which occur due to reduction of wind and due to increase in CO₂ release by plants and live microorganisms.

It is important to point out that on 09/21 a large fire was registered near the study area located in the forest area of the Guards Cavalry Regiment (in Portuguese Regimento de Cavalaria de Guardas - RCG), also close to the area of the Brasília National Park. The date of worst thermal discomfort was verified on the same day that there was a forest fire near the sheds, which may have influenced the increase in discomfort verified in the monitoring. However, low humidity levels were verified days before the fire, which may have contributed to starting the fire and potentiating the proportions of burning in the area with dry vegetation (Figure 08).

In order to complement the data evaluated in the comfort analysis, the psychometric chart for the climate of Brasilia in September was verified using the Climate Consultant software version 6.0, whose calculation method is also based on ASHRAE 55. The result obtained was 28%. of hours of comfort compared to 72% of discomfort, calculated during the work shift (07:00 – 21:00) at the CIR, which is close to what was observed in the results of the adaptive comfort calculation presented in Table 01.



Figure 08: Aerial image of the fire site near the CIR/DF.
 Source: Lasus/UnB (2023).

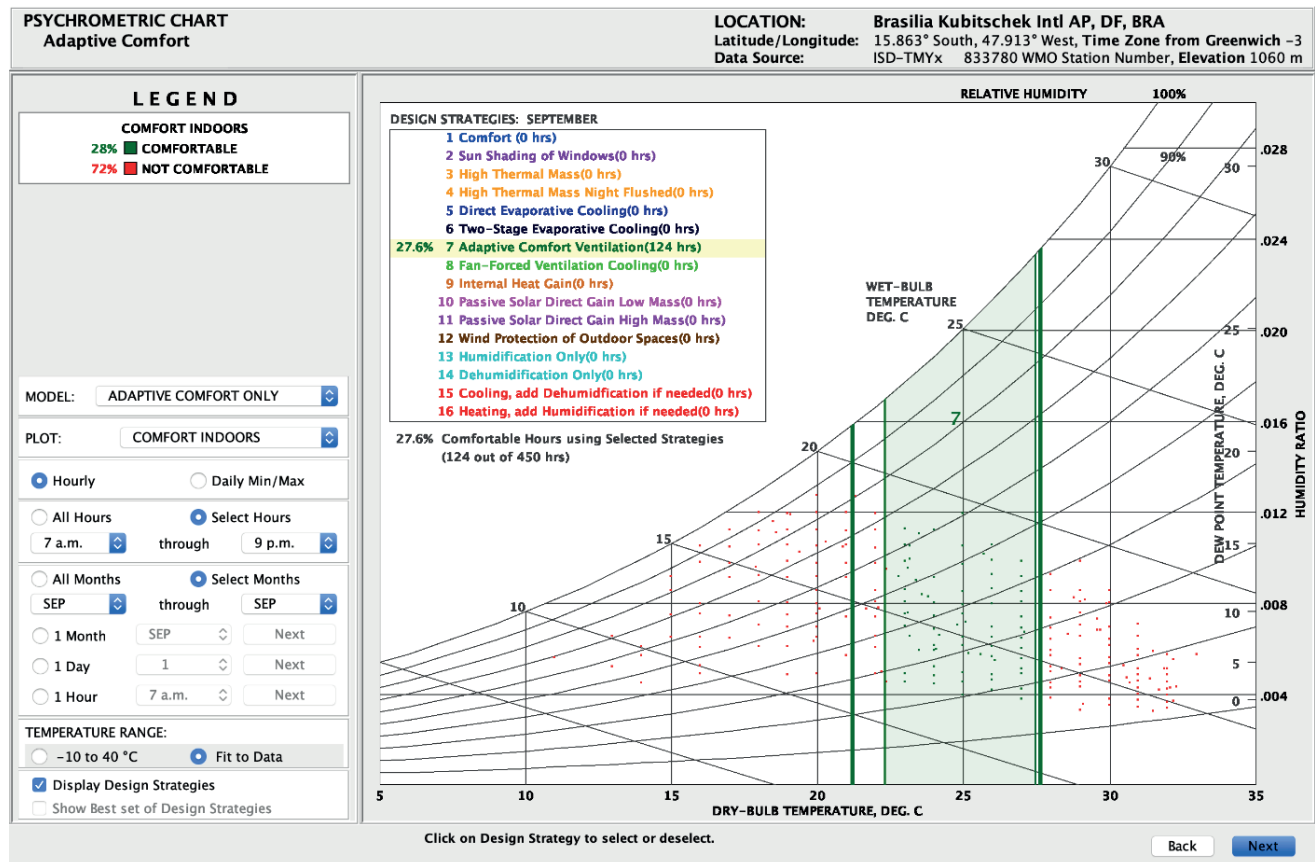


Figure 09: Psychrometric map of Brasilia in September, from 07:00 to 21:00.
 Source: Climate Consultant 6.0 with Typical Meteorological Year (TMY) climate data from 2004 to 2018.

The strategy that best contributes to improving indoor thermal comfort is ventilation, as shown in the result of Figure 09, also linked to the concept of adaptive comfort, that is, when the user manages to improve the comfort of the thermal environment (Buonocore, 2018). Therefore, applying strategies that increase the hours of ventilation in this period would be ideal to increase the internal comfort of the sheds, since the main openings for ventilation are fixed tilting, with a very narrow opening, and exposed to solar radiation, which can lead to an increase the temperature of the air entering the building (Figure 10).

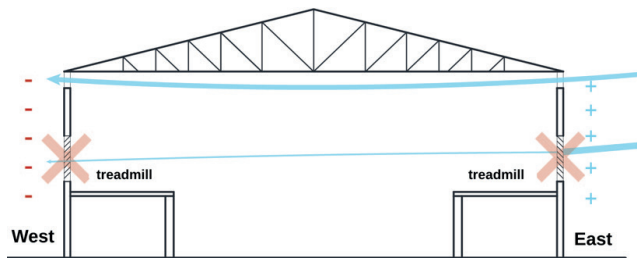


Figure 10: Schematic section of the current ventilation of the sheds.
Source: produced by the authors (2023).

However, since the sorting activity on mats performed in the shed makes it difficult to install mechanical ventilation to ease the feeling of heat, it is suggested to adapt the openings, integrating them with a mechanical exhaust system to improve the renewal of the internal air. Therefore, it is important to design the openings and exhaust fans in such a way as to combine the movement of air due to the action of the wind and the difference in temperature (Borré, 2013).

The ventilation inlet should face the prevailing winds, also known as the positive pressure zone, which in this case are to the east, with the air outlets placed at the outer low-pressure end. Furthermore, to amplify the efficiency of air renewal in the sheds, it is interesting to use mixed methods with natural air insulation and mechanical exhausters, for example. Because, in this way, the internal air pressure becomes lower than the external one, allowing a greater flow of air into the interior of the sheds. Regarding the installation of axial exhaust fans, located on the wall, they should be located in the opposite part to the air reception and at the highest possible level in relation to the floor (Macintyre, 1990; Borré, 2013) (Figure 11).

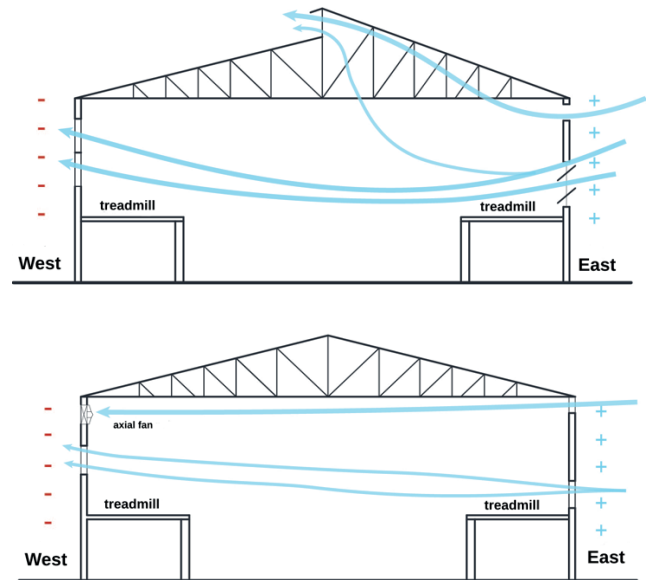


Figure 11: Examples of ventilation strategies in industrial warehouses.
Source: Strategies adapted from Macintyre (1990) for cutting the sheds under study.

4. CONCLUSIONS

The evaluation of temperature, humidity and CO₂ concentration variables can support studies to improve quality in the workplace. It is important to highlight that important Brazilian norms that define CO₂ concentration values, such as NBR 16.401-3:2008 and Anvisa Resolution No. 9, do not assess naturally ventilated environments. In this way, it is possible to perceive that there is still a strong incentive for professionals in the construction sector to opt for artificial climate control strategies, in comparison with low impact strategies, which are more adapted to the local climate, such as the use of natural ventilation or hybrid.

Furthermore, it was noticed that many norms found are not specific to spaces for handling recyclable material, as in the case of the use of NR17 from 2022 as a normative basis for the observation of humidity data in the internal environments of the sheds. Therefore, another important point of reflection is the lack of regulations that support the improvement of the quality of spaces dedicated to solid waste management activities in Brazil, as a potential barrier to the transformation of this sector in favor of mitigation and adaptation of cities to climate change.

The environment monitored in this research, the DF Integrated Recycling Complex, is the result of the reformulation of policies aimed at improving working conditions in the urban solid waste management sector, offering greater dignity to the work carried out by cooperatives in the Federal District, in comparison with the situation found previously with the old Structural Dump. Furthermore, the material received by the CIR

often arrives together with organic waste, making the handling of recyclables more complex and unhealthy for the collector. Therefore, implementing policies that can contribute to the quality of the waste delivered to the CIR, through education programs and social awareness about the disposal of recyclable materials, is essential for improving the quality of work in this environment.

However, in order to complement the research, it is interesting to carry out studies that can assess the presence of other local atmospheric pollutants, due to the arrival of various types of waste at the site. In addition, to be able to deepen the research on thermal comfort, monitoring it in the winter period and applying a questionnaire with all collectors in different climatic contexts to understand the demands of extreme climatic periods.

It can be considered that analyzing the internal environment of the Integrated Recycling Complex of the DF is extremely relevant for the context of the country's capital, as this space receives waste from different regions to be recycled, avoiding the disposal of undue materials in controlled landfills. And especially in the context of a pandemic, in which urban solid waste management activity is classified as essential, obtaining a well-ventilated and healthy space contributes to the health of the collectors present, who can carry out their important work in times of health crisis. Therefore, it is very important for society to produce more studies in spaces such as the Complexo, in order to make the management of urban waste increasingly appropriate, innovative and sustainable in Brazil.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to express our gratitude to the Urban Cleaning Service (SLU) of the Federal District and CAPES for their invaluable support during this research. Additionally, we extend our thanks to the Decanato de Pesquisa e Inovação for their support. The last author also acknowledges CNPq for the scholarship provided.

REFERENCES

Assis, Eleonora. S. **Appropriate urban design mechanisms to attenuate the urban heat island: Performance analysis of green areas in tropical climate**. 1990. 164 f. Dissertation (Masters) – Faculty of Architecture and Urbanism, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

Bai, X. et al. Six research priorities for cities and climate change. **Nature**, v. 555, 2018, p. 23–25.

Birol, F. IEA World Energy Outlook Report. **IEA Annual Report**, [s. l.], v. 51, no. 6, 2010, p. 4847–4862. Available at: www.iea.org/Textbase/about/copyright.asp. Accessed on: 14 May. 2023.

BORGES, M. G. E. **Influence of the built environment on the urban microclimate: a case study on the campus of the Federal University of Santa Catarina**. 2009. 154 f. Dissertation (Master in Architecture and Urbanism) – Graduate Program in Architecture and Urbanism at the Federal University of Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina (SC).

Borré, R. **Ventilation system in an industrial environment**. 2013. (Graduate Monograph) – Lato Sensu Course in Industrial Engineering. Regional University of the Northeast of the State of Rio Grande do Sul, Panambi, Rio Grande do Sul (RS).

Braga, R. Climate change and urban planning: an analysis of the City Statute. In: **VI Anppas National Meeting. Bethlehem, PA**. [s. n.], 2012, p. 1–15. Available at: < https://igce.rc.unesp.br/Home/Departamentos47/planejamentoterritorialegeoprocessamento640/md_roberto_artigos_artig_anppas.pdf > Accessed on: 15 May. 2023.

Buonocore, C. **Analysis of thermal comfort conditions in the hot and humid climate of São Luís (MA): field studies in naturally ventilated and acclimatized classrooms**. 2018. 203 f. Dissertation (Master's Dissertation) – Graduate in Architecture and Urbanism. Federal University of Santa Catarina, Florianópolis (SC).

Capelari, M.G.M. et al. The trajectory of the closure of the largest landfill in Latin America: between centralization, decentralization and exclusion. **Development and Environment**, [s. n.], v. 54, 2020, p. 146–166. Available at: <https://doi.org/10.5380/DMA.V54I0.69134>. Accessed on: 15 May. 2023.

Chaves, J.V.B.; Mota, L. T. M. Application of a low-cost sensor in CO2 concentration analyzes in the residential Terras do Barão. Campinas, sp. **Brazilian Journal of Development**, vol. 6, no. 11, 2020, p. 84886–84899. Available at: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-052>. Accessed on: 15 May. 2023.

Crippa, M. et al. Global anthropogenic emissions in urban areas: Patterns, trends, and challenges. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 7, 2021.

Codeplan. **Atlas of the Federal District - 2020: 'chapter 02' environmental characterizations**. Brasília, DF, 2020, p.31. Available at: <https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Atlas-do-Distrito-Federal-2020-Cap%C3%ADtulo-2.pdf>. Access on May 25, 2023

Colling, A.V.; Dubeux, C. B. S. **Waste Sector GHG Emission Scenario Waste Sector GHG Emission Estimates by 2050**. IES-Brasil Project - 2050. Center for Integrated Studies on the Environment and Climate Change (Centro Clima/COPPE/UFRJ), 2015.

De Dear, R.J.; Brager, G. S. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. **ASHRAE Transactions**, v. 104, no. Part 1, 1998, p. 145–167.

Espíndola, I.B.; Ribeiro, W. C. Cities and climate change: challenges for Brazilian municipal master plans. **Metropolis Notebooks**, v. 22, no. 48, 2020, p. 365–396. Available at: <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2020-4802>. Accessed on: 15 May, 2023.

Ferraz, I.M. **DF gains one of the most modern recycling centers in the country**. Brasília Agency, 2020. Available at: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2020/12/02/df-ganha-um-dos-mais-modernos-centros-de-reciclagem-do-pais/>. Access on May 25, 2023.

Higaskino, C.E.K.; Figel, I.C.; Yamada, M. P. A. **Microbiological quality of air in conditioned environments**. TECPAR Institute of Technology of Paraná, 2007, p. 1–21.

HUET, D. S. **Greenhouse Gas Inventories: compilation and analysis of studies developed by Brazilian states**. 2014. 38 f. Monograph (Specialization Monograph). Specialization in Environmental Management. Superior School of Agriculture "Luiz de Queiroz", University of São Paulo. Sao Paulo-SP).

Humphreys, M.A.; Rijal, H.B.; Nicol, J. F. Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database. **Building and Environment**, v. 63, 2013, p. 40–55.

Humphreys, Michael A.; Nicol, J. F. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. **ASHRAE Transactions**, v. 104, no. Part 1B, 1998, p. 991–1004.

IBRAM. Management Plans for the Protection Areas of Vila Estrutural - Plan for the Use of the Urban Park of Estrutural. Product 4 – ARIE Management Plan for Vila Estrutural. **GREENTEC environmental technology**, 2012, p. 308.

IPCC. **Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Mitigation of Climate Change**. 2022

Nicol, J.F.; Humphreys, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, vol. 34, no. 6, 2002, p. 563–572. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3). Accessed on: 15 May, 2023.

Pereira, I. M.; Assis, E. S. de. Evaluation of adaptive index models for use in bioclimatic architectural design. **Built Environment**, v. 10, no. 1, 2010, p. 31–51. Available at: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212010000100002>. Accessed on: 15 May, 2023.

Ribeiro, W. C. Impacts of climate change on cities in Brazil. Magazine. **Strategic Partnerships**, vol. 27, 2008, p. 298–322.

Romero, M. A. B. **Bioclimatic Architecture of the Public Space**. 1st edition. Brasilia: Publisher University of Brasilia, 2002.

Rupp, R.F.; Ghisi, E. Evaluation of predictive models of thermal comfort in offices in the Brazilian subtropical climate. **Built Environment**, v. 19, no. 2, 2019, p. 91–107. Available at: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000200310>. Accessed on: 15 May 2023.

SEEG. Analysis of Brazilian Greenhouse Gas Emissions and Their Implications for Brazil's Climate Targets 1970–2019. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 3, no. 3, 2020, p. 291–300.

SLU. Building a new solid waste management model in the DF - SLU activities report. Brasília: **Urban Cleaning Service**, 2016, p. 2-7.

UNDESA. World Population Prospects. United Nations. Population Division, Department of Economic and Social Affairs/ New York: Department of Economic and Social Affairs: United Nations, 2019.

Vallero, D. **Fundamentals of Air Pollution**. 4th ed. Durham, North Carolina: Academic Press, 2007, p. 77-317.

Vianello, R. L.; Alves, A. R. **Basic meteorology and applications**. Viçosa, 144p. MG: Impr. University, UFV, 1991.

Williams, R. et al. **Air Sensor Guidebook**. Epa/600/R-14/159, no. 1, p. 1–5, 2014.

ACEITO EM: 20/12/2023

PUBLICADO EM: 20/03/2024

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Feroli

Record of authorship contribution:

CRedit Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

RCAF: conceituação.

EAL: administração do projeto.

EJRSS: análise formal .

CFSILVA: escrita - revisão & edição.

Conflict of interest: nothing has been declared.

AUTHORS

ORCID: 0000-0003-4794-0019

ROBERTA CAROLINA ASSUNÇÃO FARIA, Master | University of Brasilia | Architecture and Urbanism | Brasília (DF), Brazil | Asa Norte, Brasília, DF, 70910-900 | robertacfaria7@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9503-9607

ERONDINA AZEVEDO DE LIMA, PhD | University of Mato Grosso | Environmental physics | Cuiabá (MT), Brazil | Asa Norte, Brasília, DF, 70910-900 | erondinaazevedo@unb.br

ORCID: 0000-0001-7236-5242

EDUARDO JONATHAN RAMOS E SILVA SAMPAIO, Master | University of Brasilia | Architecture and Urbanism | Brasília (DF), Brazil | Asa Norte, Brasília, DF, 70910-900 | sampaio.eduardo@aluno.unb.br

ORCID: 0000-0001-8910-1841

CAIO FREDERICO ESILVA, PhD | University of Brasília | Architecture and Urbanism | Brasília (DF), Brazil | Asa Norte, Brasília, DF, 70910-900 | caiosilva@unb.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

FARIA, Roberta Carolina Assunção; LIMA, Erondina Azevedo de; SAMPAIO, Eduardo Jonathan Ramos e Silva; SILVA, Cario Frederico de. MIX Sustentável, v. 9, n. 10, p. 63-73, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mix-sustentavel>>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.41-51>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.41-51).

SUBMETIDO EM: 22/09/2023

LCA WITH UNCERTAINTY ANALYSIS: LITERATURE REVIEW AND POTENTIAL APPLICATION IN BRAZILIAN FEDERAL HIGHWAYS

ACV COM ANÁLISE DE INCERTEZAS: REVISÃO DA LITERATURA E POTENCIAL EMPREGO NAS RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS

ACV CON ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE: REVISIÓN DE LA LITERATURA Y POTENCIAL EMPLEO EN LAS CARRETERAS FEDERALES DE BRASIL

BRUNO VENDRAMINI DOS SANTOS | UnB - University of Brasília, Brazil

MARUSKA LIMA DE SOUSA HOLANDA, M.Sc. | UnB - University of Brasília, Brazil

CLÁUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA FEITOSA PEREIRA, Dr. | UnB - University of Brasília, Brazil

JOÃO HENRIQUE DA SILVA RÊGO, Dr. | UnB - University of Brasília, Brazil

ABSTRACT

The article offers a systematic review of the literature, highlighting recent advances in the use of Life Cycle Assessment Methodology (LCA) in highway projects, combining it with uncertainty analysis techniques. Considering the significant investments planned for the Brazilian federal road network in the coming years, it is essential that project solutions be developed with a view to mitigating their environmental impacts. However, Brazil faces challenges related to the availability and quality of environmental data on the main road inputs, in addition to the lack of use of the ACV methodology as a management tool for federal highways. The methodology used prioritized the search for scientific articles on the Web of Science database in the period between 2010 and 2023. The results highlight the main deficiencies and advances observed in the research and indicate alternatives for the development of a case study aiming to better investigate the feasibility of jointly using the LCA methodology with uncertainty analysis techniques in the national context.

KEYWORDS

Life cycle assessment; uncertainty; federal highways; Brazil.

RESUMO

O artigo oferece uma revisão sistemática da literatura, destacando os recentes avanços no uso da Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) em projetos rodoviários, combinando-a com técnicas de análise de incertezas. Considerando os expressivos investimentos previstos para a malha rodoviária federal brasileira nos próximos anos, é essencial que as soluções de projeto sejam desenvolvidas visando mitigar os seus impactos ambientais. No entanto, o Brasil enfrenta desafios relacionados à disponibilidade e qualidade de dados ambientais dos principais insumos rodoviários, além da ausência de emprego da metodologia ACV como ferramenta de gestão das rodovias federais. A metodologia empregada priorizou a busca de artigos científicos na base de dados da Web of Science no período entre 2010 e 2023. Os resultados destacam as principais deficiências e avanços observados nas pesquisas, e indicam alternativas para o desenvolvimento de um estudo de caso visando melhor investigar a viabilidade do uso conjunto da metodologia ACV com técnicas de análise de incerteza no contexto nacional.



PALAVRAS-CHAVE

Avaliação do ciclo de vida; incertezas; rodovias federais, Brasil.

RESUMEN

El artículo ofrece una revisión sistemática de la literatura, destacando los avances recientes en el uso de la Metodología de Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) en proyectos de carreteras, combinándola con técnicas de análisis de incertidumbre. Considerando las importantes inversiones previstas para la red vial federal brasileña en los próximos años, es esencial que las soluciones del proyecto se desarrollen con miras a mitigar sus impactos ambientales. Sin embargo, Brasil enfrenta desafíos relacionados con la disponibilidad y calidad de datos ambientales en las principales entradas de carreteras, además de la falta de uso de la metodología ACV como herramienta de gestión de carreteras federales. La metodología utilizada priorizó la búsqueda de artículos científicos en la base de datos Web of Science en el período comprendido entre 2010 y 2023. Los resultados resaltan las principales deficiencias y avances observados en la investigación, e indican alternativas para el desarrollo de un estudio de caso con el objetivo de investigar mejor la viabilidad de utilizar conjuntamente la metodología ACV con técnicas de análisis de incertidumbre en el contexto nacional.

PALABRAS CLAVE

Evaluación del ciclo de vida; incertidumbres; carreteras federales, Brasil.

1. INTRODUCTION

Transport infrastructure plays a crucial role in the social and economic development of any nation and must be adequately planned to meet the growing demand for passenger and cargo mobility. The International Energy Agency (IEA) estimates that by 2050, global passenger and freight travel will double compare to 2010 levels, requiring the construction of nearly 25 million kilometers of new paved roads and cumulative investments totaling 45 trillion dollars (Dulac, 2013). In Brazil, in one of the scenarios simulated by the National Logistics Plan 2035 (PNL 2035), it is estimated that 246 billion dollars will be invested in transport infrastructure projects by 2035, with a return to growth in the Gross Domestic Product (GDP) of 11% (EPL, 2021).

However, the key role of the transportation sector is not limited to economic and social aspects; it also has a significant impact on the environment. It is estimated that approximately 25% of global CO₂ emissions are attributed to the transportation sector, whose current rate is projected to grow by 60% by 2050 if appropriate measures are not taken to curb its expansion (WORLD BANK, 2021).

According to Diaz-Sarachaga et al. (2017), the influence of the transportation sector on the environment becomes even more relevant for emerging economies that are planning significant investments in the expansion and maintenance of their transportation infrastructure, such as Brazil. Brazil's transportation matrix is dominated by the road mode, with a total of approximately 1.72 million kilometers of roads at the federal, state and municipal levels. Out of this total, approximately 1.35 million kilometers consist of unpaved roads (78.5%), and another 157,000 kilometers are planned roads (9.1%), which, when combined, represent a potential of approximately 1.5 million kilometers of roads to be paved in the coming years (DNIT, 2023a).

In addition to the potential growth margin of the Brazilian road network, it is important to consider the existence of approximately 64,000 kilometers of paved federal highways, with a significant portion of this road network exhibiting service levels that require increasingly intensive and robust maintenance actions, including the replacement of some existing assets with new ones (Mello; Queiroz, 2017).

However, the National Department of Transport Infrastructure (DNIT), which is responsible for developing research and technical standards related to transportation infrastructure and for executing a significant portion of highways projects in Brazil, lacks a technical specification

to characterize and quantify the environmental impacts associated with the engineering alternatives or solutions outlined in its project manuals (DNIT, 2023b). A difference in environmental impact between various possible pavement solutions, for example, can become a crucial criterion for selecting the project alternative to be implemented.

It can be observed that the challenge facing Brazil has two major interconnected aspects. The first is the need to increase and adequately maintain its road transportation infrastructure. The second aspect, related to Brazil's commitments made at the 27th Conference of the Parties (MMA, 2022) to achieve net-zero emissions of greenhouse gases, lies in the challenge of reconciling the advancements driven by road construction and maintenance with the negative impacts on the environment (Santero; Masanet; Horvath, 2011a; Santos et al., 2018a). The balance between these two challenges could be achieved with the Life Cycle Assessment (LCA) methodology (ABNT NBR ISO 14040, 2014; ABNT NBR ISO 14044, 2014) in Brazilian highways projects.

The effective implementation of LCA in Brazilian highways projects as a decision-support tool depends, however, on the availability and quality of environmental data associated with the production of supplies such as steel, cement and asphalt. According to Vigon et al. (2017), Brazil and other emerging countries have made significant advancements in LCA but still have product inventories with many shortcomings, such as incomplete documentation and the absence of review and validation of information by independent sources. Therefore, life cycle assessments of highways in Brazil should address not only the environmental impacts related to different design options, but also the implications in terms of uncertainty in LCA results due to the quality of environmental data for materials or products.

In this context, this study aims to identify the main findings from the international literature regarding the use of uncertainty analysis techniques in LCA studies and to analyze the characteristics of LCA studies in highways. The primary objective of this research is to evaluate the feasibility of applying the LCA methodology with uncertainty analysis to projects involving Brazilian federal highways.

2. METHODOLOGY

The research methodology adopted in this article is a Systematic Literature Review (SLR), which involves

examining research and discussions carried out by other authors on the topic that will be addressed in this article (Galvão; Ricarte, 2020). It was conducted using the SLR methodology known as the Consolidated Meta Analytical Approach Theory (TEMAC) (Mariano; Rocha, 2017), and the analysis of the articles was divided into two subthemes, as shown in Figure 01.

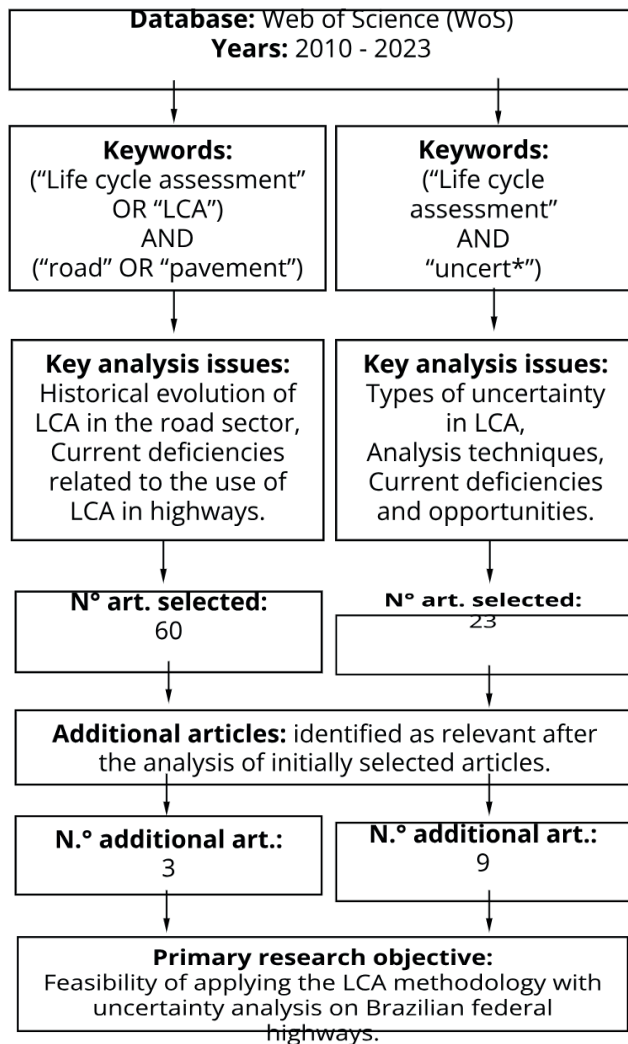


Figure 01: Flowchart of the systematic literature review.
Source: Authors.

Figure 01 depicts the process of scientific article research, conducted through the consultation of the Web of Science (WoS) database, covering the period from 2010 to 2023. This research was guided by two axes of keywords and fundamental questions, as detailed in the flowchart. Additionally, after the analysis of initially selected articles, it was identified that there was a need to evaluate articles deemed relevant to the subthemes, even if they were published before 2010. This resulted in a total of 63 articles related to the topic of LCA in highways or pavements (LCA in the road sector), along with 32 articles addressing LCA

and uncertainties (LCA with uncertainties).

The systematic literature review will support the primary objective of this research.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. LCA in the road sector

The first records of studies related to the application of LCA methodology in the road sector date back to the late 1990s, with publications focusing on the construction of road pavements, including asphalt and concrete pavements, and on the extraction of raw materials from nature and the manufacturing of products (Stripple, 2001). However, the initial investigations of the literature revealed that research on LCA in highways lacked uniformity in terms of defining indicators, quantification, and objective assessment of the environmental impacts caused by the different phases of a highway's life cycle. These observations were initially made by Santero et al. (2011a, 2011b), who conducted one of the first and most comprehensive literature reviews on the environmental impacts of highways based on the methodology provided by the International Organization for Standardization (ISO) standards: ISO 14040 (2006a) and ISO 14044 (2006b). These publications summarize advances on the topic up to 2011. Other important publications have been made on the subject recently, also as literature reviews (Anthonissen; Van Den Bergh; Braet, 2016; Aryan; Dikshit; Shinde, 2023; Azarijafari; Yahia; Ben Amor, 2016; Hasan; Whyte; Al Jassmi, 2019; Inyim et al., 2016).

The current concept of the LCA methodology brings an approach based on the assessment of environmental impacts of a system that encompasses the life cycle of a product (systems and materials) or service (activity or process). Therefore, there is no direct association of this methodology with specific cases or study situations, with the evaluator defining the boundary conditions and applicable adaptations for each situation (FHWA, 2016). The stages and data flows (inputs and outputs) related to the typical life cycle stages of a road pavement are represented in Figure 02.

Figure 02 simplifies the discrepancies in pollutant emissions between the phases that make up the life cycle of a road infrastructure. The main impacts are associated with the operation or use, construction or manufacturing, and material processing phases. Additionally, it illustrates the various options for utilizing some materials after the end-of-life phase of the structures.

The environmental impact assessment process based on the LCA methodology is governed by the ISO

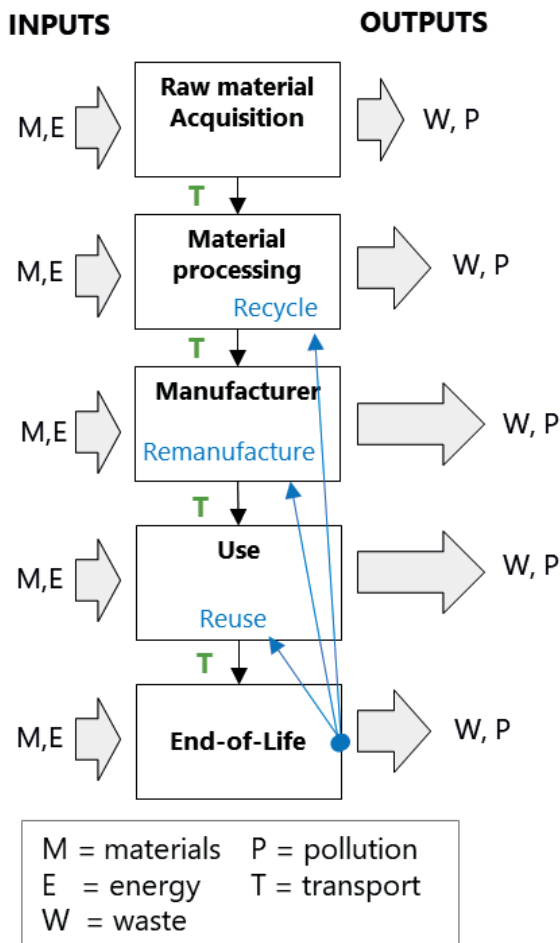


Figure 02: Typical phases of a road pavement.
 Source: Adapted from Kendall (2012).

standards (14040 and 14044), incorporated by the Brazilian Association of Technical Standards through the ABNT NBR ISO 14040 (2014) and ABNT NBR ISO 14044 (2014) standards. According to these standards, an LCA study consists of four interrelated phases: the goal and scope definition phase, the inventory analysis phase, the impact assessment phase, and the interpretation phase.

However, despite recent advances in research related to the application of the LCA methodology in the transport sector, there are still several questions raised in the literature about how to implement it consistently for decision-making. Therefore, the next topics will detail the main findings in the literature on the application of LCA in the road sector, focusing on the goal and scope definition and inventory analysis phases, as they are the central basis of LCA studies.

3.1.1. The goal and scope definition

The methodological principles associated with the goal and scope stage encompass definitions such as the

intended application, the rationales behind conducting the study, the intended audience, data and its prerequisites, system boundary, functional unit, allocation procedures, impact assessment methodology, types of impact, and limitations of the study (ABNT NBR ISO 14040, 2014).

The goals associated with highway LCA studies are numerous. Typically, comparative analyses are conducted between rigid pavements (Portland cement) and flexible pavements (asphalt cement), as exemplified by the studies conducted by Kucukvar and Tatari (2012), Batouli, Bienvenu and Mostafavi (2017), Boonpoke et al. (2018), and Nascimento et al. (2020). Out of the 63 publications that were analyzed, 11 (17%) contained this comparative analysis. Other research efforts were aimed at investigating the environmental impacts caused by different types of materials, mostly aimed at reducing the consumption of cement, natural aggregates, or asphalt (Anastasiou; Liapis; Papayianni, 2015; Chen; Wang, 2022; Osorto; Casagrande, 2023; Plati; Tsakoumaki, 2023; Selvam et al., 2021; Shi et al., 2019). Some studies conducted a combined evaluation of environmental impacts with economic and social aspects, a relatively recent and less represented approach in the sample of consulted publications (Choi et al., 2016; Gravina da Rocha et al., 2022; Zheng et al., 2019). Santos et al. (2018) assessed the environmental impacts of different pavement maintenance and restoration plans, focusing only on the combination with economic aspects. The studies conducted by Batouli et al. (2017) and Hong et al. (2018) also demonstrates the combination of LCA methodology with economic aspects in the analysis of different pavement solutions or scenarios.

The functional unit is of fundamental importance for the analysis of highway LCA results, as it is associated with the goal and scope definition phase. It is defined by ABNT NBR ISO 14040 (2014) as a reference for input and output data that is normalized. It provides a performance parameter for infrastructures that integrate highways. Therefore, it must have a measurable and comparable property.

Different functional units were used in the articles researched: linear extension-bearing tracks (Plati; Tsakoumaki, 2023); platform area (Chen et al., 2021); linear extension and average annual volume of vehicles (Jullien; Dauvergne; Cerezo, 2014) and pavement performance parameters, such as its longitudinal irregularity and permanent deformation (Jiang et al., 2020; Santos et al., 2018a; Xu et al., 2019). Nonetheless, it is evident that the absence of uniformity in the functional units employed in the selected research renders comparative analysis of the results impracticable, corroborating observations made in

this regard by some authors consulted (Santero; Masanet; Horvath, 2011a; Xu et al., 2019).

The goal and scope phase of an LCA study also encompasses the definition of the analysis system, the establishment of geographic and temporal limitations, and the establishment of data quality prerequisites for the execution of the study. Regarding the latter, it is noteworthy that the characterization of qualitative parameters of environmental data utilized in highway LCA studies is uncommon, as is the analysis of the impact of uncertainties inherent in the input data on the results of the studies (Aryan; Dikshit; Shinde, 2023). In any case, the literature indicates that definitions related to the goal and scope phase are influenced by the availability and quality of available environmental data (Alam; Hossain; Bazan, 2022).

In relation to the delimitation of analysis systems in highway LCA studies, it was observed that many tools to support calculations offer previously defined systems and environmental databases. However, many of these tools are not used by entities linked to the transportation sector because they have systems with very broad limits, and which do not reflect the real situations linked to the design, construction, maintenance and operation stages of highways (Mattinzoli et al., 2020). The primary tools used

in highway LCA studies are presented in Table 01, along with some of their characteristics.

Table 01 illustrates that the tools used to support highway LCA studies are concentrated in North America and Europe. Also shows that many of the tools use environmental data and engineering standards related to their country of origin, although some of them allow modifications to their technical premises or original databases, such as the Athena Pavement LCA software (Athena; Canada, 2018) and Carbon Gauge (Dilger et al., 2013).

Furthermore, the individual analysis of software with free access demonstrates that their methodological bases require, before any environmental calculation, the description of the service items (i.e., selection of equipment, materials and their respective quantities) necessary for the execution of the works, therefore the same basic routines for preparing an engineering budget. Because of this, the main difference between these LCA tools is that they add environmental data and environmental impact methodologies to traditional budgeting rules. This is evident in tools that jointly analyze the economic and environmental aspects associated with the construction of a highway, such as INVEST (Reid et al., 2018) and the LCA Pave Tool (Meijer et al., 2021).

In Brazil, the main methodological reference for developing budgets in transport infrastructure is the Reference Cost System for Works (SICRO) (DNIT, 2023c). In addition to establishing budget specifications, SICRO also follows the specifications of the Transport Research Institute (IPR/DNIT) in terms of project design and execution of road services, in addition to making details available in its database regarding the type of fuel and its average consumption by the various equipment used to carry out the works. Due to these specificities, SICRO could be an alternative for developing the methodological basis for LCA studies on Brazilian federal highways.

The publications consulted present significant variations in terms of the period and phases of the studies' life cycle, which must also be defined in the scope and objective definition stage. Research with similar scopes and objectives has significantly different analysis periods, such as the research developed by Mascarenhas et al. (2022) and Chen et al. (2018). Despite encompassing identical phases of the highways' life cycle, the research conducts investigations for useful life spans of structures of 20 and 40 years, respectively. In relation to the life cycle phases, it is possible to identify studies with the presence of systems that consider a single phase (Yu; Lu, 2014) or all phases of the life cycle of a highway (Zhang et al., 2010). Out of

Software	Owner/Country	Scope	LCA Phase	Database
MOVES	U.S.EPA USA	Road	T, U	N
INVEST	FHWA USA	Road	T, R, MP, C, U	N
BREEAM Infrastructure	BREEAM UK	Varied	T, R, MP, C, U	N, I
PaLATE	UC. Berkely USA	Road	T, R, MP, C, U	N
LCA Pave Tool	FHWA USA	Road	T, R, MP, C	N
Athena Pav. LCA	Athena Inst. USA CAN	Road	T, R, MP, C, U, E	N
SimaPro	PRéu Stainability/NL	Varied	T, R, MP, C, U, E	N, I
Carbon Gauge	TAGG AUS NLD	Road	T, R, MP, C, U	N, I
OpenLCA	Green Delta/DE	Varied	T, R, MP, C, U, E	N, I
asPECT	TRL UK	Road	T, R, MP, C, E	N, I

Acronyms: T – transport; R – raw material; MP – material processing; C – construction; U – use; E – end-of-life; N – national; I – international.

Table 01: The primary tools utilized in highway LCA studies.

Source: Authors.

the 63 articles selected, 53 (84%) consider the phases of raw material extraction, transport, processing, construction, maintenance, or end-of-life in highway LCA studies. However, despite being considered one of the main contributors to the total emission of greenhouse gases (GHG) (Santero; Masanet; Horvath, 2011b), the use phase was considered in only 10 (16%) articles (Alam; Hossain; Bazan, 2022; Araújo; Oliveira; Silva, 2014; Jiang et al., 2020; Loijos; Santero; Ochsendorf, 2013; Santos et al., 2018b; Santos; Ferreira; Flintsch, 2015; Wang et al., 2012; Xu et al., 2019; Zhang et al., 2010; Zheng et al., 2019).

3.1.2. The life cycle inventory analysis

The second stage of LCA is Life Cycle Inventory Analysis (LCI). The ABNT NBR ISO 14040 (2014) standard clarifies that at this stage data collection and the definition of calculation procedures must occur with the purpose of quantifying the inputs and outputs of information classified as relevant to a given system. The data associated with a system's processes can be classified as follows: a) energy inputs, raw material inputs, auxiliary inputs, other physical inputs; b) products, co-products and waste; c) atmospheric emissions, discharges to water and

soil, and d) other environmental aspects.

The databases used in LCA studies of road pavements are diverse, and for some phases (such as the extraction of raw materials from nature and manufacturing) there is a greater diversity of information sources available, such as those coming from entities public and private (ASTM INTERNATIONAL, 2023; CRSI, 2022; EUROBITUME, 2020; PCA, 2023) and literature publications themselves (Rosado et al., 2017; Stripple, 2001); while for the operation phase it is common to obtain data indirectly through calculation models, such as the total amount of GHG emitted into the atmosphere by motor vehicles, including variations depending on the functional conditions of the pavement over time (Santos et al., 2018a), and the albedo effect of pavements (Yu; Lu, 2014). The Figure 3 provides a comprehensive overview of the main sources of free and accessible environmental databases, both national and international, that can be used to conduct LCA studies on highways.

Figure 3 illustrates the difference between the number of environmental data sources available in developed and developing countries. This disparity also highlights deficiencies in the establishment and utilization of regional environmental bases by emerging nations, such as Brazil, Malaysia and Thailand, which possess

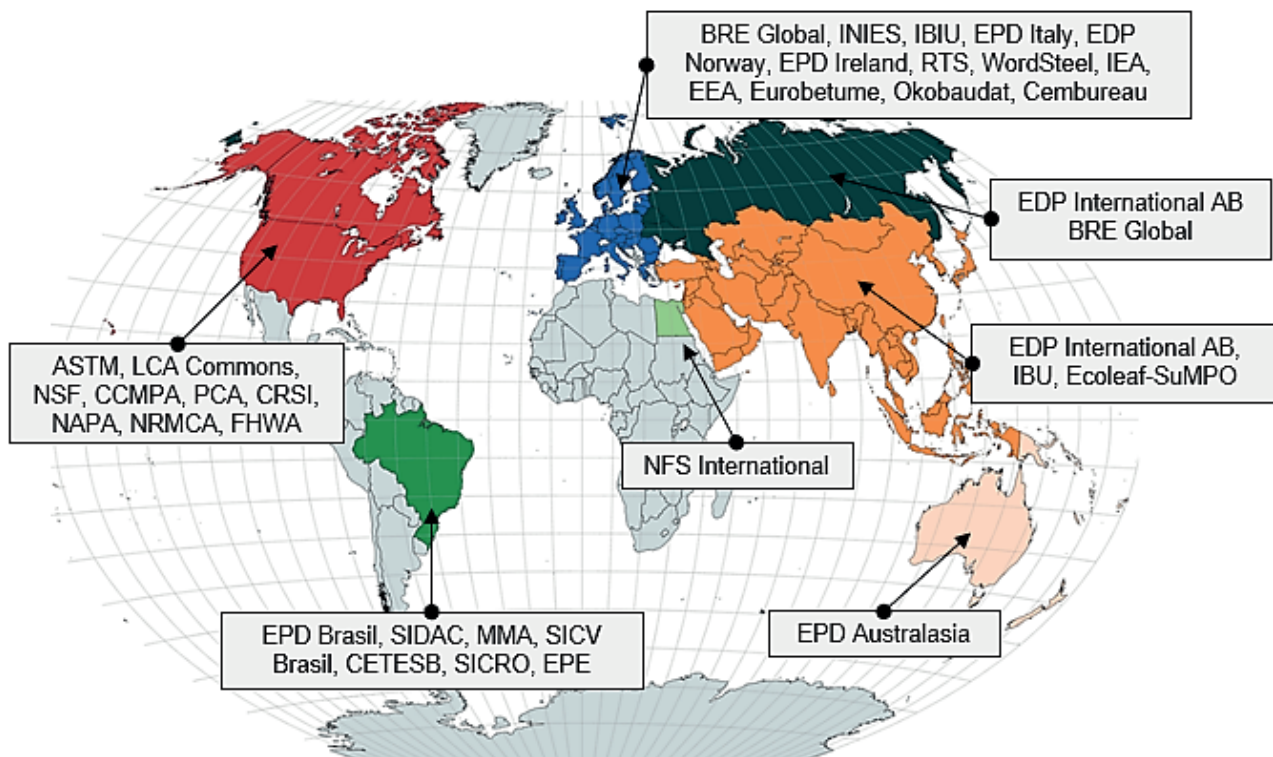


Figure 03: Example of countries with free and accessible environmental databases.
Source: Authors.

inventories that lack a comprehensive account of the assumptions adopted and their validation by an independent source (Vigon et al., 2017).

The availability of environmental information related to the production of the main components or materials used in road infrastructure was limited for the Brazilian context. However, it is possible to note that public national sources that have self-declared inventory data in accordance with the standards ABNT NBR ISO 14040 (2014) and ABNT NBR ISO 14044 (2014), such as the Construction Environmental Performance Information System (SIDAC) (Belizario et al., 2022), the Environmental Product Declarations (EPD) published by companies operating in the national Portland cement and steel production sector (INTERNATIONAL EPD®, 2023), and the National Bank of Life Cycle Inventories of Brazilian Products (SICV Brasil) (IBICT, 2023).

Other sources of information with public access may also be applicable to highway LCA studies, such as the SICRO equipment performance parameters (DNIT, 2023c), already highlighted, and the vehicle emissions reports published by the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) (BRUNI et al., 2022).

The public availability of environmental databases represents an important advance for LCA studies conducted in Brazil, but it is still insufficient for the development of a study that covers all the materials contained in an executive road engineering project, the quantity of which can exceed 150 different types of inputs (DNIT, 2022). One way to increase environmental information on inputs produced in the Brazilian economy would be the creation of new EPD's, whose editing and validation process is regulated by the Brazilian Life Cycle Assessment Program (PBACV) (MDIC, 2016), with the National Institute of Metrology, Quality and Technology (INMETRO) being one of the main public agents responsible for conducting this program. However, according to INMETRO (INMETRO, 2023), there is still no EPD published within the scope of PBACV, which is partly due to difficulties related to the lack of interest from the private sector. This indicates the need to evaluate new government actions to encourage the development and use of EPD in Brazil.

The lack of environmental data on products from the Brazilian economy has led to the partial or complete use of data from other countries in national highway LCA research, as shown in Table 02.

Table 02 shows that national highway ACV research uses data on the production of inputs such as cement, steel and bitumen from Europe and the United States, while the main sources of environmental data in Brazil are the EPE

Author	Phase ACV	Environmental databases		
		Brazil	EUA	Europe
(Osorto; Casagrande, 2023)	R, MP, T, C	EPE, SICRO	U.S. EPA	
(Luvizão; Trichês, 2023)	R, MP, T, U	SICRO		Ecoinvent
(Gravina da Rocha et al., 2022)	R, MP, T, C			Ecoinvent
(Mascarenhas et al., 2022)	R, MP, T, C	EPE, SICRO		Ecoinvent Eurobitume
(DONATO et al., 2022)	R, MP, T, C			Ecoinvent
(GRAEL et al., 2021)	R, MP, T, C	EPE		Ecoinvent
(PILGER et al., 2020)	R, MP, T, C	EPE		Ecoinvent
(NASCIMENTO et al., 2020)	R, MP, T, C			Ecoinvent
(ROSADO et al., 2017)	R, MP, T, C	EPE	USLCI	Ecoinvent
(SAVIETTO, 2017)	R, MP, T, U, E	SICRO	USLCI	

Acronyms: T– transport; R– raw material; MP– material processing; C– construction; U– use; E– end-of-life; EPE– Empresa de Pesquisa Energética; EPA– U.S. Environmental Protection Agency; US LCI– U.S. Life Cycle Inventory Database.

Table 02: LCA research of highways in Brazil, with the phases and some environmental databases considered.

Source: Authors.

(energy matrix) and parameters operation of SICRO equipment. However, in some research, it is difficult to determine whether the data obtained from the Ecoinvent database is specific to Brazil, related to other countries or generic.

Furthermore, it was found that the use of foreign data in these research is not accompanied by the assessment of the uncertainties inherent to this type of boundary condition. Another observation is that national studies focus on comparing different paving solutions and the use of alternative materials, such as recycled asphalt and recycled aggregates, in pavement structures. National research is concentrated in the phases of extracting raw materials from nature, manufacturing, transport and construction.

A striking characteristic of both national and international highway LCA studies is the absence of analyses that encompass all aspects of a road infrastructure, including bridges, earthworks and drainage, i.e., services that extend beyond the layers of a pavement.

3.2. LCA and uncertainties

The ABNT NBR ISO 14040 (2014) standard defines

uncertainty analysis in LCA studies as a systematic procedure to quantify the uncertainty introduced into the results of a life cycle inventory analysis due to the cumulative effects of model inaccuracy, input uncertainty and data variability. The standard also highlights that the quantification of uncertainty can be determined through the probability distribution or probability ranges of the results, without, however, presenting more details on how to use this technique in LCA studies.

Although it also does not provide a calculation procedure to quantify uncertainty in LCA studies, the ABNT NBR ISO 14044 (2014) standard recommends that the results be accompanied by sensitivity analysis and quantification of uncertainties in cases of comparative studies. This same recommendation is contained in the ILCD Handbook (EUROPEAN COMMISSION, 2010).

Although there are no standards to quantify uncertainties in LCA, it is possible to note in the literature research that is dedicated to the topic and that can be divided into two groups. The first aims to establish concepts and procedures for the characterization, quantification and analysis of uncertainties in LCA, without necessarily involving a specific field of application, but focusing on the assessment of uncertainties in inventory data (Canter et al., 2002; Kennedy; Montgomery; Quay, 1996; Weidema B. P. et al., 2013). The second group is correlated with the application of the principles outlined by the initial group in LCA case studies. Table 03 shows examples of life cycle assessment studies in the road and civil construction areas, as well as the connection between these groups and the studies.

Table 03 shows that, irrespective of the sector in which the LCA study is being utilized, such as roads or civil construction, the conceptual references utilized to quantify uncertainties are essentially identical, albeit some of them have been published for more than 20 years.

Among the articles initially selected (23), at least one of the authors from "Group 1" in Table 3 was utilized to substantiate or elaborate on the methodology employed for evaluating the uncertainties of the studies.

3.2.1. Types and sources of uncertainty

According to Lloyd and Ries (2007), uncertainties in LCA studies can be divided into three types: parameter, scenario, and model. This division represents activities of a typical modeling process, such as defining input data, selecting analysis scenarios, and building the mathematical model. The uncertainties attributed to these three categories are detailed below:

Area	Group 1 Definition of concepts	Group 2 Use of concepts
Road	(Weidema, 1998; Weidema B P et al., 2013)	(Abed et al., 2023)
	(Canter et al., 2002; Lloyd; Ries, 2007; Mark A.J. Huijbregts et al., 2001; Weidema, 1998)	(Yoo; Ozer; Ham, 2019)
Civil construction	(Canter et al., 2002; Huijbregts; Wim Gilljamse; Lucas Reijnders, 2003; Maurice et al., 2000; May; Brennan, 2003; Pedersen Weidema;	(Hong et al., 2016)
	Suhr Wesnaes, 1996; Weidema, 1998)	
	(Huijbregts, 1998; Lloyd; Ries, 2007; Mark A.J. Huijbregts et al., 2001; Pedersen Weidema; Suhr Wesnaes, 1996; Weidema B P et al., 2013)	(Baiochi; Silva, 2021)

Table 02: Example of LCA studies with quantification of uncertainties (Group 2) and the main references used in research (Group 1).

Source: Authors.

- a) models' uncertainties: involve the mathematical models and characterization factors used in the life cycle impact assessment phase to express reality (IPCC, 2006);
- b) scenario uncertainties: refer to choices related to the construction of scenarios, such as the functional unit, allocation procedures, weight of emission factors and time horizons (Huijbregts, 1998), and
- c) parameter uncertainties: related to inventory data and can be characterized as: data inaccuracy; lack of data; data gaps; non-representative data; temporal variability; spatial variability, and technological variability (Huijbregts, 1998; Lloyd; Ries, 2007; Pedersen Weidema; Suhr Wesnaes, 1996; Weidema, 1998).

Despite the types of uncertainty mentioned, it is possible to note that some of the recent publications that deal with the quantification of uncertainties in highway LCA do not present clear definitions regarding the type (whether model, scenario, or parameter) and the sources of uncertainty that are being considered in the research, as shown in Table 5. According to Gregory et al. (2016), scenario and parameter uncertainties are often analyzed together when they should be analyzed separately. The studies carried out by Azarijafari, Yahia and Amor

(2018) and Ziyadi and Al-Qadi (2019) are specific cases of highway LCA in which the types of uncertainty were defined and evaluated individually.

The literature also shows that research on highway LCA has focused mainly on evaluating parameter uncertainties using sensitivity analysis techniques, data quality index and probabilistic simulation (Abed et al., 2023; Bressi; Primavera; Santos, 2022; Cao et al., 2019; Mattinzioli et al., 2021; Umer et al., 2017; Yoo; Ozer; Ham, 2019). According to Ziyadi and Al-qadi (2019), the complex task of measuring uncertainties related to the model and the scenario makes it difficult to establish systematic methodologies for their quantification, possibly contributing to the scarcity of research in the road area that addresses such types of uncertainties.

Table 04 presents the relationship between the LCA phases, the main types of uncertainty and the techniques used for their evaluation or reduction, while Table 5 presents some of the characteristics of the LCA studies of highways in which uncertainties were quantified and analyzed.

4. CONCLUSION

The study in question was conducted using an SRL with the main objective of evaluating the feasibility of applying the LCA methodology with uncertainty analysis techniques to projects involving Brazilian federal highways. In this sense, the methodology used proved to be adequate, as it made it possible to identify the advances and knowledge gaps in the subject with the indication of alternatives that can be applied to the national context.

Research on LCA of highways is focused on the investigation of the environmental impacts of the phases of extraction of raw material from nature, manufacturing, transport and construction of road pavements. This is a striking feature in national research, in addition to the preponderance of analyses aimed at comparing rigid and flexible pavement solutions, combined or not with the use of alternative materials. However, the phase of operation or use of the highway, indicated by some authors consulted as the main responsible for the total GHG of road infrastructures, was little explored in the research (16%). Elements of road infrastructure such as bridges and drainage devices, and earthmoving services are little explored in LCA studies of highways.

Another striking feature is the lack of uniformity in relation to the functional units used in LCA studies, which hinders the comparative analysis of the published results. This same observation was made in 2011 by

Santero, Masanet and Horvath (2011a), and remains in the most recent research.

Regarding the availability of environmental data, especially of basic inputs such as cement, steel and bitumen, it was found that the main sources of information with free access are concentrated in North America and Europe. Brazil still has a limited number of environmental data on inputs produced in its economy. Despite the advancements observed, such as the establishment of the public database SICVBrasil and the Program PBACV, the environmental data of Brazilian products currently available is insufficient for the LCA study of a road construction project, where the number of inputs can exceed 150 (DNIT, 2022).

The lack of environmental information on Brazilian inputs explains the use of data from foreign products in national surveys (Table 2). As a highlight, the operational parameters of the SICRO equipment and the data published by EPE (energy matrix) are the main sources of national information. However, despite the use of foreign data in national studies, the quantification and analysis of the uncertainties related to this type of boundary condition was not verified.

The analysis of the main software used in the LCA of highways shows that they have the basic rules of preparation of a traditional road budget, with the inclusion of environmental data of the inputs and methodologies of environmental impact. In this sense, it was identified that SICRO can be a national alternative for the development of LCA calculation models for highways projects, especially because it contemplates the IPR/DNIT project design parameters and the operating parameters of the equipment used in field services.

Regarding the combined use of the LCA methodology with uncertainty analysis, it was found that the main conceptual references used in recent research are practically the same, although some of them exceed 20 years of publication. The uncertainties in LCA studies are divided into three groups: model, scenario and parameter.

LCA studies are focused on the investigation of parameter uncertainties with the use of techniques such as sensitivity analysis, data quality index and probabilistic simulation. It was also identified a lack of studies dedicated to the quantification of model and scenario uncertainties, may be a motivation for new research on the theme LCA of highways.

No national surveys were identified in the road sector with the joint application of LCA and uncertainty analysis techniques.

Given this context, it can be concluded that the

Types of uncertainty	LCA Phases		
	Purpose and scope	Inventory	Impact assessment
Inaccuracy of data		✓ P, MQD, IQD, MA, AS, AHP, ED, EB, SMP	✓ P, MQD, IQD, MA, AS, AHP, ED, EB, SMP
Lack of data		✓ RBD, EP, MA, RC	✓ RBD, EP, MA, RC
Data gap		✓ RBD, EP, MA, RC	
Non-representative data		✓ RBD, MQD, IQD, MA, RC, AS, AHP, MC	
Temporal variation		✓ MD, AS, AHP, ED, EB, MC	✓ MD, AS, AHP, ED, EB, MC
Spatial variation		✓ MD, AS, AHP, ED, EB, MC	✓ MD, AS, AHP, ED, EB, MC
Technological variation		✓ MA, AS, AHP, ED, EB, MC	✓ MA, AS, AHP, ED, EB, MC
Scenario	✓ RC, AS, AHP	✓ RC, AS, AHP	✓ RC, AS, AHP
Model		✓ MD, AS, AHP, MC	✓ MD, AS, AHP, MC
Techniques to reduce or assess uncertainty in LCA			
RC – Critical review	It ensures that the methods, data and interpretations used are appropriate and reflect the objectives of the study.		
P – Standardization	Adopting sets of predefined procedures has the potential to increase the reliability of studies and reduce errors.		
AHP – Hierarchical analysis	It offers the possibility of assigning different weights to the data, reflecting the relative importance of the data as a function of the greater or lesser potential of its environmental impact, or the different uncertainties associated with them.		
SMP – Probabilistic Simulation	Used to estimate the range and probability of the possible values of a study based on the propagation of the uncertainties of the input data in the result.		
RBD – Database review	It allows the identification of possible factors that may impair the quality of the study, such as measurement errors, or the identification of other databases with better quality or that are more appropriate to the situation under study.		
MQD – Data Quality Goals	It lists the desirable qualitative characteristics for the input data of the LCA study.		
ED – Basic descriptive statistics	It encompasses the analysis of data with the aid of classical statistics, such as: mean, median, standard deviation and variance.		
EB – Bayesian Statistics	Some subjective uncertainties can follow a frequency of occurrence and be treated with the use of basic statistics.		
MC – Scenario Modeling	The evaluation of different scenarios allows us to observe the reflections of the choices in the results of the LCA study.		
AS – Sensitivity analysis	Recommended to identify which input data have the greatest contribution to the uncertainty of the result, as well as what the effects on the results of a study are as a function of the methods and data selected.		
MD – Detailed models	Improving the structure of the models and their parameterization can result in a better understanding and characterization of errors.		
MA – Additional measures	The random errors of a sample can be reduced by increasing the number of measurements.		
EP – Parameter estimation	Data obtained from literature references or estimated based on processes of similar systems.		
DQI – Data Quality Index	Parameters assigned to the inventory data and that allow to measure its overall quality.		

Table 04: Relationship between LCA phases, types of uncertainty and techniques for their assessment or reduction.
Source: IPCC (2006), Hujibregts (1998) and ABNT NBR ISO 14044 (2014).

Ref.	Country	Phases ACV	Goal	Uncertainty				
				Parameter	Scenario	Model	Analysis technique	Software
(ABED et al., 2023)	England	MP, C, U, F	Quantify and incorporate uncertainties associated with the durability of the asphalt pavement surface in LCA results.	✓			Sensitivity Monte Carlo ¹ Statistics	SimaPro
(BRESSI; SPRING; SANTOS, 2022)	Italy	MP	Compare environmental impacts between rigid and flexible pavement solutions with uncertainty analysis.	✓	*		Sensitivity Monte Carlo ¹	N.A.
(MATTINZIOLI et al., 2021)	Spain	MP, C	To investigate the influence of data variability and uncertainty on LCA results of asphalt pavements.	✓	*		Sensitivity Monte Carlo ¹	N.A.
(CAD et al., 2019)	China	MP, C, R, F	LCA study with uncertainties in the comparative analysis of asphalt pavement solutions with tire residues.	✓			Sensitivity Monte Carlo	N.A.
(ZIYADI; AL-QADI, 2019)	Germany	U	Establish a LCA study methodology with the individualized analysis of different types of uncertainty and apply it in a case study of highway operation.	✓	✓	✓	Monte Carlo ¹ Machine L. Bayesian Sensitivity	N.A.
(YOO; OZER; HAM, 2019)	USA	MP	Quantify the uncertainties and environmental impacts in the main pavement construction processes.	✓	*		AHP Monte Carlo ¹	SimaPro
(YU; LIU; GU, 2018)	China	MP	Calculate the consumption of primary energy in the production of paving materials with the inclusion of uncertainties in the results.	✓	*		AHP Monte Carlo ¹	Crystal Ball
(AZARIJAFARI; YAHIA; LOVE, 2018)	Canada	MP, C, R, F	To evaluate the individual and combined effects of data uncertainty and variability in the LCA comparison of rigid and flexible pavements.	✓	✓		Sensitivity Monte Carlo ¹	SimaPro
(UMER et al., 2017)	Canada	R	Evaluate the environmental impacts and costs of three types of pavements with the quantification of uncertainties.	✓			Fuzzy	N.A.
(LIU; WANG; LI, 2017)	China	MP, C	Quantify CO2 emission with uncertainties for different rigid and flexible pavements.	✓	*		Statistics	N.A.
(GREGORY et al., 2016)	USA	MP, C, R, F	Propose a LCA methodology with uncertainties and apply it in a pavement case study.	✓			Monte Carlo ¹ Sensitivity	N.A.
(NOSHADRAVAN et al., 2013)	USA	R	LCA analysis between rigid and flexible floors with the quantification of uncertainties of the input data.	✓			Monte Carlo ¹	N.A.

Table 05: Highway LCA studies with uncertainty quantification and analysis.

Source: Authors.

Note: (1) Data quality index and probabilistic simulation techniques were combined.

(*) Type of uncertainty that was not explicitly stated, but there is doubt as to its consideration in the study;

N.A: Information not shown.

application of the LCA methodology with uncertainty analysis in projects of Brazilian federal highways appears to be possible, especially when considering the stages of extraction of raw material from nature, manufacturing, transportation and construction, phases of the life cycle of highways with more expressive advances in terms of national LCA research. Furthermore, due to the limitations associated with the availability and quality of environmental data on local road inputs, it is important to develop research that considers the uncertainties of the input parameters of national studies. The impacts in terms of variability of the results of the LCA study can be significant, depending on the quality and origin of the data.

However, for a definitive conclusion on the technical feasibility of using the LCA methodology with uncertainty analysis, it is crucial to advance in additional research in the area, preferably with case studies that incorporate DNIT's executive highways projects, including all its service families, and not only the inputs and services related to the pavement.

Finally, this article presents elements that can be used as starting points for the development of new research on the subject at the national level.

REFERENCES

ABED, A. et al. Uncertainty analysis of life cycle assessment of asphalt surfacings. **Road Materials and Pavement Design**, p. 1–20, 21 abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14040: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - princípio e estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14044: Gestão ambiental avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 46 p.

ALAM, M. R.; HOSSAIN, K.; BAZAN, C. Life cycle analysis for asphalt pavement in Canadian context: modelling and application. **International Journal of Pavement Engineering**, v. 23, n. 8, p. 2606–2620, 2022.

ANASTASIOU, E. K.; LIAPIS, A.; PAPAYIANNI, I. Comparative life cycle assessment of concrete road pavements using industrial by-products as alternative materials. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 101, p. 1–8, 1 jun. 2015.

ANTHONISSEN, J.; VAN DEN BERGH, W.; BRAET, J. Review and environmental impact assessment of green technologies for base courses in bituminous pavements. **Environmental Impact Assessment Review**. Elsevier Inc., v. 60, p.139-147, 1 set. 2016.

ARAÚJO, J. P. C.; OLIVEIRA, J. R. M.; SILVA, H. M. R. D. The importance of the use phase on the LCA of environmentally friendly solutions for asphalt road pavements. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 32, p. 97–110, 2014.

ARYAN, Y.; DIKSHIT, A. K.; SHINDE, A. M. A critical review of the life cycle assessment studies on road pavements and road infrastructures. **Journal of Environmental Management**. Academic Press., v. 336, 15 jun. 2023.

ASTM INTERNATIONAL. **Environmental Product Declarations**. Available at: <<https://www.astm.org/products-services/certification/environmental-product-declarations/epd-pcr.html>>. Accessed: 15 aug. 2023.

ATHENA, I.; CANADA, C. A. **Athena Pavement LCA**. Available at: <https://calculatelca.com/wp-content/uploads/2016/04/PavementLCA_UserGuide.pdf>. Accessed: 14 aug. 2023.

AZARIJAFARI, H.; YAHIA, A.; AMOR, B. Assessing the individual and combined effects of uncertainty and variability sources in comparative LCA of pavements. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 23, n. 9, p. 1888–1902, 1 set. 2018.

AZARIJAFARI, H.; YAHIA, A.; BEN AMOR, M. Life cycle assessment of pavements: Reviewing research challenges and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 2187-2197, 2016.

BAIOCHI, A. G.; SILVA, V. G. DA. Análise de incerteza de parâmetros com base em processos críticos em avaliação do ciclo de vida de edificações. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 12, p. e021027, 29 set. 2021.

BATOULI, M.; BIENVENU, M.; MOSTAFABI, A. Putting sustainability theory into roadway design practice: Implementation of LCA and LCCA analysis for pavement type selection in real world decision making.

Transportation Research Part D: Transport and Environment, v. 52, p. 289–302, 1 may 2017.

BELIZARIO-SILVA, F. et al. Sistema de informação ambiental da construção – **Metodologia**, 1st ed., p. 1-74. São Paulo: SIDAC, 2022.

BOONPOKE, A. et al. Special Issue on: Green Technology for Sustainable Infrastructure Development Environmental impact evaluation of road pavements using life cycle assessment tool. **International Association of Lowland Technology**, v. 20, n. 2, p. 117–124, 2018.

BRESSI, S.; PRIMAVERA, M.; SANTOS, J. A comparative life cycle assessment study with uncertainty analysis of cement treated base (CTB) pavement layers containing recycled asphalt pavement (RAP) materials. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 180, 1 maio 2022.

CANTER, K. G. et al. Stochastic Modeling LCA Methodology Screening Stochastic Life Cycle Assessment Inventory Models. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 18–26, 2002.

CAO, R. et al. Comparative life cycle assessment of warm mix technologies in asphalt rubber pavements with uncertainty analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 147, p. 137–144, 1 aug. 2019.

CHEN, X. et al. Life-cycle assessment of climate change impact on time-dependent carbon-footprint of asphalt pavement. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 91, 1 fev. 2021.

CHEN, X.; WANG, H. Life cycle assessment of asphalt pavement recycling for greenhouse gas emission with temporal aspect. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 148–157, 20 jun. 2018.

CHEN, X.; WANG, H. Life-cycle assessment and multi-criteria performance evaluation of pervious concrete pavement with fly ash. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 177, 1 fev. 2022.

CHOI, K. et al. Environmental, Economic, and Social Implications of Highway Concrete Rehabilitation Alternatives. **Journal of Construction Engineering and**

Management, v. 142, n. 2, fev. 2016.

CONCRETE REINFORCING STEEL INSTITUTE (CRSI). ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION-**STEEL REINFORCEMENT BAR**. p. 1-13, 20 sep. 2022. Available at: <https://www.crsi.org/sustainability/environmental-product-declaration/>. Accessed: 17 aug. 2023.

DIAZ-SARACHAGA, J. M.; JATO-ESPINO, D.; CASTRO-FRESNO, D. Methodology for the development of a new Sustainable Infrastructure Rating System for Developing Countries (SIRSDEC). **Environmental Science and Policy**, v. 69, p. 65–72, 1 mar. 2017.

DILGER, A. et al. **Greenhouse Gas Assessment Workbook for Road Projects Transport**. 1st ed., p. 120, feb. 2013. Available at: <https://roads-waterways.transport.nsw.gov.au/documents/about/environment/greenhouse-gas-assessment-workbook-road-projects.pdf>. Accessed: 3 aug. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. EDITAL 0484/22-00: Contratação de empresa para execução das obras de adequação de capacidade, duplicação, restauração, melhorias de segurança e eliminação de pontos críticos na rodovia BR-080/DF. Brasília-DF: **DNIT**, 2022. Available at: <https://www1.dnit.gov.br/editais/consulta/resumo.asp?NUMIDEdital=9291>. Accessed: 21 jul. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. PNV/SNV: Plano Nacional de Viação e Sistema Nacional de Viação. Brasília-DF: **DNIT**, 2023a. Available at: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/atlas-e-mapas/pnv-e-snv>. Accessed: 21 jul. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Coletânea de Normas. Brasília-DF: **DNIT**, 2023b. Available at: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas>. Accessed: 21 jul. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. SICRO: Sistema de Custos Referencias de Obras: Manuais de Custos. Brasília-DF: **DNIT**, 2023c. Available at: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro>. Accessed: 21 jul. 2023.

DONATO, M. et al. Mechanical Analysis of Subgrades of Road Pavements in Life Cycle Assessment. **Civil Engineering Journal (Iran)**, v. 8, n. 7, p. 1492–1506, 1 jul. 2022.

DULAC, J. GLOBAL LAND TRANSPORT INFRASTRUCTURE REQUIREMENTS: **Estimating road and railway infrastructure capacity and costs to 2050**. 1st ed., p. 1-54, 2013: Available at: www.iea.org. Accessed: 20 aug. 2023.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA (EPL). **Plano Nacional de Logística 2035**. 1st ed., p. 216, 2021. Brasília, DF: Available at: https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/politica-e-planejamento/copy_of_planejamento-de-transportes/pnl-2035. Accessed: 20 aug. 2023.

EUROBITUME. **THE EUROBITUME LIFE-CYCLE INVENTORY FOR BITUMEN**. 3rd. ed., p. 48, apr. 2020. Belgium: Available at: www.eurobitume.eu. Accessed: 28 aug. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Specific guide for Life Cycle Inventory (LCI) data sets**. 1st ed., p. 1-142, mar. 2010. Luxembourg: Available at: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ilcd.html>. Accessed: 10 ago. 2023.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). **Pavement Life Cycle Assessment Framework**. 1st ed., 246, jul. 2016. Washington, DC: Available at: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/enstewardship.cfm>. Accessed: 22 aug. 2023.

GRAEL, P. F. F. et al. Life cycle inventory and impact assessment for an asphalt pavement road construction—a case study in Brazil. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 26, n. 2, p. 402–416, 1 fev. 2021.

GRAVINA DA ROCHA, C. et al. Social and environmental assessments of Eco-friendly Pavement alternatives. **Construction and Building Materials**, v. 325, p. 13, 10 feb. 2022.

GREGORY, J. R. et al. A Methodology for Robust Comparative Life Cycle Assessments Incorporating Uncertainty. **Environmental Science and Technology**,

v. 50, n. 12, p. 6397–6405, 21 jun. 2016.

HASAN, U.; WHYTE, A.; AL JASSMI, H. Critical review and methodological issues in integrated life-cycle analysis on road networks. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 541-558, 1 jan. 2019.

HONG, F.; PROZZI, J. A. Evaluation of recycled asphalt pavement using economic, environmental, and energy metrics based on long-term pavement performance sections. **Road Materials and Pavement Design**, v. 19, n. 8, p. 1816–1831, 17 nov. 2018.

HONG, J. et al. Uncertainty analysis for measuring greenhouse gas emissions in the building construction phase: A case study in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 129, p. 183–195, 15 ago. 2016.

HUIJBREGTS, M. A. J. LCA Methodology Application of Uncertainty and Variability in LCA Part I: A General Framework for the Analysis of Uncertainty and Variability in Life Cycle Assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 273-280, 1998.

HUIJBREGTS, M. A. J.; WIM GILIJAMSE; LUCAS REIJNDERS. Evaluating Uncertainty in Environmental Life-Cycle Assessment. A Case Study Comparing Two Insulation Options for a Dutch One-Family Dwelling. **Environmental Science & Technology**, v. 37, n. 11, p. 2600-2608, 9 may 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IBICT). **SICV Brasil - Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida**. Available at: <<https://sicv.acv.ibict.br/>>. Accessed: 3 ago. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **CONSULTA: Lei de Acesso à Informação: processo nº 03005.187358/2023-81**. Brasília, 12 jun. 2023. Formulário eletrônico - Plataforma SouGov.

INTERNATIONAL EPD®. **The International EDP System**. Available at: <<https://environdec.com/library>>. Accessed: 15 aug. 2023.

INYIM, P. et al. Environmental assessment of pavement infrastructure: A systematic review. **Journal of Environmental Management**. **Journal of Environmental**

Management, p. 128-138, 1 jul. 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Capítulo 3: Combustión móvil, v. 2, p. 1-78, 2006. Available at: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. Accessed: 23 jul. 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework**. ISO: Geneva, Switzerland, 2006a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14044: Environmental Management -Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines**. ISO: Geneva, Switzerland, 2006b.

JIANG, R. et al. Estimating carbon emissions from road use, maintenance and rehabilitation through a hybrid life cycle assessment approach – A case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, 20 dez. 2020.

JULLIEN, A.; DAUVERGNE, M.; CERESO, V. Environmental assessment of road construction and maintenance policies using LCA. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 29, p. 56–65, 2014.

KENDALL, A. **Life Cycle Assessment for Pavement: Introduction**, p. 1-10. Available at: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pub_details.cfm?id=935>. Accessed: 16 aug. 2023.

KENNEDY, D. J.; MONTGOMERY, D. C.; QUAY, B. H. Data Quality Stochastic Environmental Life Cycle Assessment. A Probabilistic Approach to Incorporating Variable Input Data Quality Modeling. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 199-207, 1996.

KUCUKVAR, M.; TATARI, O. Ecologically based hybrid life cycle analysis of continuously reinforced concrete and hot-mix asphalt pavements. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 17, n. 1, p. 86–90, 2012.

LLOYD, S. M.; RIES, R. Characterizing, Propagating, and Analyzing Uncertainty in Life-Cycle Assessment: A Survey of Quantitative Approaches. **Journal of Industrial Ecology**, v. 11, n. 1, p.161-179, 2007.

LOIJOS, A.; SANTERO, N.; OCHSENDORF, J. Life cycle climate impacts of the US concrete pavement network. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 72, p. 76–83, 2013.

LIU, Y., WANG, Y., & LI, D. Estimation and uncertainty analysis on carbon dioxide emissions from construction phase of real highway projects in China. **Journal of Cleaner Production**, 144, 337–346, 2017.

LUVIZÃO, G.; TRICHÊS, G. Case Study on Life Cycle Assessment Applied to Road Restoration Methods. **Sustainability** 2023, vol. 15, Page 6679, v. 15, n. 8, p. 6679, 14 abr. 2023.

MARIANO, A. M.; ROCHA, M. S. Revisão da Literatura: Apresentação de uma Abordagem Integradora. **XXVI Congresso Internacional AEDEM**, p. 427–443, 4 jul. 2017.

MARK A.J. HUIJBREGTS et al. SETAC-Europe LCA Working Group “Data Availability and Data Quality”. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 127–132, 2001.

MASCARENHAS, Z. M. G. et al. Comparative environmental performance of pavement structures considering recycled materials and regional differences. **Science of the Total Environment**, p. 1-11, 30 oct. 2022.

MATTINZIOLI, T. et al. A critical review of roadway sustainable rating systems. **Sustainable Cities and Society**, v. 63, 1 dez. 2020.

MATTINZIOLI, T. et al. A parametric study on the impact of open-source inventory variability and uncertainty for the life cycle assessment of road bituminous pavements. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 26, n. 5, p. 916–935, 1 may 2021.

MAURICE, B. et al. Uncertainty analysis in life cycle inventory. Application to the production of electricity with French coal power plants. **Journal of Cleaner Production**, v.8, p. 95-108, 2000.

MAY, J. R.; BRENNAN, D. J. Application of Data Quality Assessment Methods to an LCA of Electricity Generation. **Studies Australian Electricity Generation**, v. 8, n. 4, p. 215-225, 19 oct. 2003.

MEIJER, J. et al. **LCA Pave: A Tool to Assess**

Environmental Impacts of Pavement Material and Design Decisions: Underlying Methodology and Assumptions. Washington, DC. p. 1-50, nov. 2021. Available at: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pub_details.cfm?id=935>. Accessed: 16 ago. 2023.

MELLO, L. G.; QUEIROZ, C. **Recentes Investimentos em Rodovias Federais Brasileiras**, v. 46, p. 20-34, 01 dec. 2017. Rio de Janeiro-RJ. Available at: <<https://www.abpv.org.br/>>.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS (MDIC). CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (CONMETRO). Resolução nº 22 de dezembro de 2016. **Diário Oficial da União**, ano 2016, 22 dez. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA CLIMÁTICA (MMA). **Brasil na COP 27**, 7 nov. 2022. Available at: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/brasil-na-cop/na-cop-27-brasil-apresenta-ao-mundo-seus-programas-voltados-a-protecao-da-amazonia-e-outros-biomas-nacionais>> Accessed: 19 aug. 2023.

NASCIMENTO, F. et al. A method to select a road pavement structure with life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 271, 20 out. 2020.

NOSHADRAVAN, A., WILDNAUER, M., GREGORY, J., & KIRCHAIN, R. Comparative pavement life cycle assessment with parameter uncertainty. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 25, 131–138, 2013.

OSORTO, M. R. R.; CASAGRANDE, M. D. T. Environmental Impact Comparison Analysis between a Traditional Hot Mixed Asphalt (HMA) and with the Addition of Recycled Post-Consumer Polyethylene Terephthalate (RPET) through the Life Cycle Assessment (LCA) Methodology. **Sustainability**, v. 15, n. 2, p. 1102, 6 jan. 2023.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). INDUSTRY-AVERAGE ENVIRONMENT PRODUCT DECLARATION (EPD). Available at: <www.astm.org>. Accessed: 15 aug. 2023.

PEDERSEN WEIDEMA, B.; SUHR WESNAES, M. Data quality management for life cycle inventories-an example of using data quality indicators. **Journal of Cleaner Production**, v. 4, n. 1, p. 167-174, 14 nov. 1996.

PILGER, J. D. et al. Environmental impacts and cost overrun derived from adjustments of a road construction project setting. **Journal of Cleaner Production**, v. 256, 20 may 2020.

PLATI, C.; TSAKOU MAKI, M. Life Cycle Assessment (LCA) of Alternative Pavement Rehabilitation Solutions: A Case Study. **Sustainability (Switzerland)**, v. 15, n. 3, 1 fev. 2023.

REID, L. et al. INVEST - **Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Too**, v. 3.1, p. 1-310, 2018, USA. Available at: < www.sustainablehighways.org >. Accessed: 5 aug. 2023.

ROSADO, L. P. et al. Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 151, p. 634-642, 22 mar. 2017.

SANTERO, N. J.; MASANET, E.; HORVATH, A. Life-cycle assessment of pavements. Part I: Critical review. **Resources, Conservation and Recycling**, jul. 2011a.

SANTERO, N. J.; MASANET, E.; HORVATH, A. Life-cycle assessment of pavements Part II: Filling the research gaps. **Resources, Conservation and Recycling**, jul. 2011b.

SANTOS, J. et al. A multi-objective optimization approach for sustainable pavement management. **Structure and Infrastructure Engineering**, v. 14, n. 7, p. 854-868, 3 jul. 2018a.

SANTOS, J. et al. Life cycle assessment of low temperature asphalt mixtures for road pavement surfaces: A comparative analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 138, p. 283-297, 1 nov. 2018b.

SANTOS, J.; FERREIRA, A.; FLINTSCH, G. A life cycle assessment model for pavement management: Methodology and computational framework. **International Journal of Pavement Engineering**, v. 16, n. 3, p. 268-286, 16 mar. 2015.

SAVIETTO, J. P. **Análise de Impactos Ambientais da Restauração de Pavimentos Asfálticos pela Avaliação do Ciclo de Vida**. 2017. 110 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

SELVAM, M. et al. Utilization of alternative aggregates

for roller compacted concrete pavements—A state-of-the-art review. **Construction and Building Materials**, v. 317, 23 nov. 2021.

SHI, X. et al. Economic input-output life cycle assessment of concrete pavement containing recycled concrete aggregate. **Journal of Cleaner Production**, v. 225, p. 414-425, 10 jul. 2019.

STRIPPLE, H. Life Cycle Assessment of Road. A **Pilot Study for Inventory Analysis**, 2 ed., p. 1-182, 2001. Gothenburg: Available at: < www.ivl.se >. Accessed: 5 jul. 2023.

UMER, A. et al. Sustainability evaluation framework for pavement technologies: An integrated life cycle economic and environmental trade-off analysis. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 53, p. 88-101, 1 jun. 2017.

VIGON, B. et al. Review of LCA datasets in three emerging economies: a summary of learnings. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 11, p. 1658-1665, 1 nov. 2017.

WANG, T. et al. Life cycle energy consumption and GHG emission from pavement rehabilitation with different rolling resistance. **Journal of Cleaner Production**, v. 33, p. 86-96, set. 2012.

WEIDEMA, B. P. LCA Data Quality. Multi-User Test of the Data Quality Matrix for Product Life Cycle Inventory Data. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 3, n. 5, p. 259-265, 1998.

WEIDEMA, B. P. et al. Overview and methodology. **Data quality guideline for the ecoinvent database version 3**, p. 1-169, 6 may 2013. Swiss: Available at: < ecoinvent.org/wp-content/uploads/2021/09/dataqualityguideline_ecoinvent_3_20130506.pdf >. Accessed: 5 jul. 2023.

WORLD BANK. **PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-25**, 1st ed., p. 1-61, 2021. Washington, DC: Available at: < www.worldbank.org >. Accessed: 12 jul. 2023.

XU, X. et al. Role of the use phase and pavement-vehicle interaction in comparative pavement life cycle assessment as a function of context. **Journal of Cleaner**

Production, v. 230, p. 1156–1164, 1 set. 2019.

YOO, W.; OZER, H.; HAM, Y. System-Level Approach for Identifying Main Uncertainty Sources in Pavement Construction Life-Cycle Assessment for Quantifying Environmental Impacts. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 2, fev. 2019.

YU, B.; LU, Q. Estimation of albedo effect in pavement life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 306–309, 1 fev. 2014.

Yu, B., Wang, S., & Gu, X. Estimation and uncertainty analysis of energy consumption and CO₂ emission of asphalt pavement maintenance. **Journal of Cleaner Production**, v. 189, p. 326–333, 2018.

ZHANG, H. et al. Dynamic Life-Cycle Modeling of Pavement Overlay Systems: Capturing the Impacts of Users, Construction, and Roadway Deterioration. **JOURNAL OF INFRASTRUCTURE SYSTEMS**, p. 1–11, 2010.

ZHENG, X. et al. Life-cycle sustainability assessment of pavement maintenance alternatives: Methodology and case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p. 659–672, 10 mar. 2019.

ZIYADI, M.; AL-QADI, I. L. Model uncertainty analysis using data analytics for life-cycle assessment (LCA) applications. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 24, n. 5, p. 945–959, 1 maio 2019.

AUTHORS

ORCID: 0009-0001-2764-7467

BRUNO VENDRAMINI DOS SANTOS | Universidade de Brasília (UnB) - Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental | Prédio SG-12, 1º andar Campus Universitário Darcy Ribeiro CEP 70910-900, Brasília - DF | vendramini.bruno@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8745-5750

MARUSKA LIMA DE SOUSA HOLANDA, Mestra | Universidade de Brasília (UnB) | Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental | University of Brasilia | Architecture and Urbanism | Brasília (DF), Brazil | Asa Norte,

Brasília, DF, 70910-900 | maruskalimaholanda@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2170-0068

CLÁUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA FEITOSA PEREIRA, Dr. | Universidade de Brasília (UnB) | Departamento de Engenharia Civil e Ambiental | Prédio SG-12, 1º andar Campus Universitário Darcy Ribeiro CEP 70910-900, Brasília - DF | claudiopereira@unb.br

ORCID: 0000-0001-9060-2010

JOÃO HENRIQUE DA SILVA RÊGO, Dr. | Universidade de Brasília (UnB) - Prédio SG-12, 1º andar Campus Universitário Darcy Ribeiro CEP 70910-900, Brasília - DF | jhenriquerego@unb.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

SANTOS, Bruno Vendramini dos; HOLANDA, Maruska Lima de Sousa; PEREIRA, Cláudio Henrique de Almeida Feitosa; RÊGO, João Henrique da Silva. MIX Sustentável, v. 9, n. 10, p. 75-92, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.75-92>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.75-92).

SUBMETIDO EM: 28/09/2023

ACEITO EM: 05/01/2023

PUBLICADO EM: 21/03/2024

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo

Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRedit Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

BVS: conceituação, curadoria de dados, investigação, metodologia, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

MLSH: conceituação, investigação, validação, visualização, escrita - revisão & edição.

CHAFP: conceituação, supervisão, visualização, escrita - revisão & edição.

JHSR: conceituação, investigação, supervisão, validação, visualização, escrita - revisão & edição.

Conflict of interest: nothing has been declared.

ANALYSIS OF WATER AND ENERGY CONSUMPTION IN A VERTICAL GREEN RESIDENTIAL BUILDING IN THE AMAZON

ANÁLISE DO CONSUMO DE ÁGUA E ENERGIA DE UMA CONSTRUÇÃO VERDE RESIDENCIAL VERTICAL NA AMAZÔNIA

ANÁLISIS DEL CONSUMO DE AGUA Y ENERGÍA DE UNA EDIFICACIÓN RESIDENCIAL VERTICAL SOSTENIBLE EN LA AMAZONÍA

RAPHAEL SANTOS DE MAGALHÃES, M.Sc. | UFPA – Universidade Federal do Pará, Brasil

WYLLIAM BESSA SANTANA, Dr. | IFPA – Instituto Federal do Pará, Brasil

LUIZ MAURÍCIO FURTADO MAUÉS, Dr. | UFPA – Universidade Federal do Pará, Brasil

GLEYDE IZABELA FERNANDES CHAVES | UFPA – Universidade Federal do Pará, Brasil

ABSTRACT

In the face of the global need to reduce resource consumption, environmental certifications emerge as a possibility for efficiency gains in the construction industry. This study aimed to assess the energy and water efficiency of a vertical multifamily green residential building located in Belém, in the Brazilian Amazon. The energy and water consumption data of two similar buildings were compared, with only one implementing mandatory green practices and technologies for Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) Envelope and Core certification. As a result, water consumption was 30.64% higher than estimated. On the other hand, electricity consumption was 24.6% below the estimated project and 1.73% below the per capita consumption obtained for the building constructed without any green practices or technologies. These results demonstrate that the adopted green technologies were able to improve the energy efficiency of the studied building. However, they had low water efficiency, attributed to user behavior patterns and the LEED's inability to meet the region's water requirements. To address this issue, changes to certification criteria are suggested.

KEYWORDS

Green building; LEED; water; energy; construction industry.

RESUMO

Diante da necessidade global em reduzir o consumo de recursos, as certificações ambientais se apresentam como uma possibilidade de ganho de eficiência na construção civil. Este trabalho buscou avaliar a eficiência energética e hídrica de uma construção verde multifamiliar residencial vertical localizada em Belém, na Amazônia brasileira. Foram comparados os dados de consumo energético e hídrico de dois edifícios similares, onde apenas um deles implementou práticas e tecnologias verdes obrigatórias para a certificação ambiental Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) Envolvória e Núcleo Central. Como resultado, foi obtido que o consumo de água foi maior que o estimado em 30,64%, por outro lado, o consumo de energia elétrica foi 24,6% abaixo do estimado em projeto e 1,73% abaixo do consumo por pessoa obtido para a edificação construída sem qualquer prática ou tecnologia verde. Estes resultados demonstram que as tecnologias verdes adotadas foram capazes de melhorar a eficiência energética do edifício estudado. No entanto, tiveram baixa eficiência hídrica. Isto foi atribuído ao padrão de comportamento dos usuários



e à incapacidade do LEED em atender as necessidades da região nos requisitos hídricos. Para melhorar esta questão sugere-se alterações nos critérios da certificação.

PALAVRAS-CHAVE

Construções verdes; LEED; água; energia elétrica; construção civil.

RESUMEN

Ante la necesidad global de reducir el consumo de recursos, las certificaciones ambientales se presentan como una posibilidad de ganar eficiencia en la construcción civil. Este trabajo buscó evaluar la eficiencia energética e hídrica de una construcción verde multifamiliar residencial vertical ubicada en Belém, en la Amazonía brasileña. Se compararon los datos de consumo energético y hídrico de dos edificios similares, donde solo uno implementó prácticas y tecnologías verdes obligatorias para la certificación ambiental Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) Envolverte y Núcleo Central. Como resultado, se obtuvo que el consumo de agua fue mayor en un 30,64% que lo estimado. Por otro lado, el consumo de energía eléctrica fue un 24,6% menor al estimado en el proyecto y un 1,73% por debajo del consumo por persona obtenido para la edificación construida sin ninguna práctica o tecnología verde. Estos resultados demuestran que las tecnologías verdes adoptadas fueron capaces de mejorar la eficiencia energética del edificio estudiado. Sin embargo, tuvieron una baja eficiencia hídrica, atribuida al comportamiento de los usuarios y a la incapacidad del LEED para satisfacer las necesidades de la región en cuanto a requisitos hídricos. Para mejorar esta cuestión, se sugieren cambios en los criterios de la certificación.

PALABRAS CLAVE

Edificaciones sostenibles; LEED; agua; energía eléctrica; construcción civil.

1. INTRODUCTION

Historically, the construction industry is one of the sectors with the greatest environmental impact, primarily due to its consumption of natural resources. It accounts for 40% of global primary energy consumption (YUSOF, 2017) and natural resource consumption (ZHAO et al., 2019). In Brazil, construction consumes over 50% of the total extracted resources, also compromising the country's abundant mineral reserves (ROSADO et al., 2017)

This occurs because, despite the intense chase of progress, there was not sufficient concern for the conscious use of natural resources, which until the middle of the last century were seen as limitless (OLIVEIRA, 2007; SONDEREGGER et al., 2017). In an effort to develop a new relationship with the environment, the construction industry currently faces the challenge of reducing the consumption of natural resources and energy (AKHTAR, 2018)

With this purpose, the adoption of sustainable construction technologies and practices stands out, which are based on alternatives for minimizing waste production, as well as optimizing energy and water consumption (Sodiq et al., 2019), such as the use of solar panels, eco-friendly pavements, rainwater harvesting, and green roofs (SIVIRINO, 2021). Consequently, these measures allow for the preservation of the natural environment, enabling the construction industry to reduce environmental impacts, improve building efficiency, and construct buildings that meet users' needs (SANTOS et al., 2015).

Among these measures, green building labels (GBL) have already contributed to certifying over 850,000 green buildings worldwide (SANTANA et al., 2023). These green buildings labels are based on the encouragement and recognition of environmentally responsible projects in the construction industry, promoting sustainable design practices and stimulating green competition (PASSOS & BRUNA, 2019). In addition to encouraging waste reduction and the use of green materials, practices, and technologies throughout the construction production chain (ATANDA & OLUKOYA, 2019).

In this context, there are several green building labels, including AQUA-HQE, a French certification that assesses the effects of building or rehabilitating structures, analyzing the external environment, user comfort, and health throughout all phases of the project (VANZOLINI, 2023). The Casa Azul Plus label from Caixa Econômica Federal, granted to projects financed by Caixa Econômica Federal, aims to raise awareness about the social and economic benefits of sustainable construction. It also aims to reduce

maintenance costs and monthly expenses for its users (SCHAMNE et al., 2021). In this context, the Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) stands out as one of the most recognized and widely used certifications worldwide, with a broad portfolio across various types of projects (DARKO et al., 2019).

In Brazil, LEED stands out as the GBL with the highest number of certifications (Santana et al., 2023), leading a movement towards reducing the environmental impacts of constructions that has been gradually evolving in the country (GOMES, 2018). In the current scenario, many buildings are showing interest in adopting these GBL to contribute to the environment and, consequently, enhance the credibility of the project (SILVA & PARDINI, 2010; LIMA, 2019).

Knowledge about the performance of certified buildings in Brazil is limited, especially due to the confidential nature of the information, as a significant portion of certified buildings belongs to the private sector (USGBC, 2023). Additionally, the financial investment needed to meet certification criteria might deem specific projects economically unfeasible, particularly considering the American certification standards within the Brazilian context (RECH et al., 2018). Furthermore, doubts persist regarding the actual performance of LEED buildings (ZHANG et al., 2018), as some studies yield negative results while others report positive efficiency outcomes for these constructions: in the United States, no significant performance improvements were observed when examining 465 federal green buildings and 11,006 conventional ones (CLAY et al., 2023; LUO et al., 2021); in India, a 34% higher energy efficiency was achieved for 4 LEED buildings (SABAPATHY et al., 2010); in Dubai, gains of 30% and 27% were observed for energy and water, respectively, in 9 schools (ELKHAPERI et al., 2021); in Brazil, values 30% and 200% higher for energy and water consumption, respectively, were obtained in a commercial LEED building with 11,000m² of constructed area (KERN et al., 2016). These factors raise questions about the true potential applicability and efficiency of this GBL in the Brazilian construction industry.

In order to contribute to this discussion and investigate the applicability of LEED in residential buildings in the Amazon region. This study aimed to assess the energy and water efficiency resulting from the implementation of mandatory requirements for LEED certification (Envelope and Core) in a vertical residential building located in the Amazon.

2. THEORETICAL FRAMEWORK

2.1. Construction Industry

The construction industry is a vital global sector, employing a significant number of people, generating income, and contributing to the development of many regions. It is a crucial sector for improving the quality of life for populations, regardless of a country's level of development (TABASSI et al., 2016). According to the U.S. Bureau of Economic Analysis (BEA, 2019), in just the third quarter of 2019, the construction industry in the United States generated over \$650 billion and employed more than 7 million people. The Chinese construction industry, on the other hand, presented even more significant figures during the same period, with a contribution proportional to the size of its market. According to the National Bureau of Statistics of China (NBS, 2019), the industry was responsible for \$6.7 trillion of the country's Gross Domestic Product (GDP), providing income for over 55 million people. In Brazil, albeit on a smaller scale, the construction industry remains one of the main economic drivers, creating jobs in various sectors of the economy and stimulating the domestic market (FIALHO et al., 2014). According to IBGE (2020), the construction industry in Brazil is recovering after years of crisis, generating more than 120,000 jobs in 2019 and surpassing 10 million employees, contributing R\$14.2 billion to the Brazilian GDP.

Despite its fundamental importance, this industry is also responsible for high levels of environmental pollution in various regions worldwide (YUSOF et al., 2017). For example, the urbanization process of cities has led to environmental impacts such as wildfires, deforestation, soil, and river pollution due to the need for space for growth and infrastructure (GONÇALVES et al., 2014; HYDE et al., 2018).

In addition to the impact caused before and during construction, it is essential to assess the effects that the outcomes of this activity generate. Regarding waste, the study by Estanqueiro et al. (2018) exemplifies that the construction industry in Europe generates over 100 million tons of waste annually, many of which are poorly managed, causing environmental damage. For the authors, HUANG et al. (2018), who analyzed construction and demolition waste (CDW) in China, the amount reaches up to 40% of the total from all sectors combined. In Brazil, approximately 50% to 70% of solid waste found in urban environments comes from the construction industry (GOMES et al., 2021).

In addition to the visible waste generated on-site from demolition and construction activities, the construction industry also significantly impacts air pollution by emitting toxic gases, contributing to the greenhouse effect,

particularly carbon dioxide (CO₂) (AKAN et al., 2017). Carbon dioxide alone accounts for 72% of all emissions contributing to the worsening of the greenhouse effect, which, in 2015, proportionally led to a 1°C increase in average global temperatures (QIAO et al., 2019), and currently, the year 2023 is proving to be the hottest year on record, with an average temperature 0.85°C above historical measurements (G1, 2023). While seemingly not a highly significant value, the constant acceleration of global warming disrupts ecosystems and, as a consequence, leads to a higher number of climate catastrophes around the world (HOEPPE, 2016). Adverse climate events, increasingly unpredictable and more frequent natural phenomena, pose challenges to engineering, demanding improved infrastructure and the development of new technologies.

2.2. Sustainability and Energy Efficiency

The notion that natural resources, even if widely extracted and used indiscriminately, would be inexhaustible regardless of the quantity consumed (OLIVEIRA, 2007) had its validation discredited decades ago (DI VITA, 2006). It is now widely acknowledged that uncontrolled management of these resources leads to their premature depletion, preventing nature from having sufficient time for replenishment (ABOU ZAHR DIAZ et al., 2019; LONGONI et al., 2018; MCKINLEY et al., 2017). Such excessive consumption, coupled with rapid exhaustion, directly impacts natural cycles, resulting in climate changes that affect air quality, water availability, energy supply, and food production in the directly affected regions and their areas of influence (ZAMAN et al., 2017).

The dilemma in the construction industry is the pursuit of more sustainable materials without giving due importance to the reuse of existing materials. The necessary change requires a mindset instilled from academic education to demonstrate that the development of new materials and technologies is not the sole path to a more sustainable construction (SIEFFERT et al., 2014). In this sense, it is essential to note that for sustainable construction to exist, attention must be given to the three pillars: ecological sustainability, economic opportunity, and social inclusion. This is crucial for transitioning from a polluting society to a sustainable one (AWADH, 2017; BROMAN & ROBERT, 2017; LU & ZHANG, 2016).

Considering these aspects and following the global trend, sustainable construction has been a sector that needed to reshape itself in recent decades to align more with these concepts (TABASSI et al., 2016). In this context,

the concept of Low-Carbon Neighborhoods and Cities emerges. These are urban clusters that, through conscious practices and the use of renewable energy sources, manage to reduce greenhouse gas emissions and minimize environmental and climate impacts. This approach aims not only to transform isolated developments but to change the lifestyle of entire communities, experiencing increasing demand in Brazil and other countries as an alternative in the construction process (ASSAF, 2011; BENITES et al., 2020).

2.3. Green Building Labels (GBL)

Shifting the production process in construction, though challenging, has become a global necessity, involving the more conscious and regulated use of natural resources. Ignoring this shift in principles may result in a high environmental and quality of life cost for nations (LU & ZHANG, 2016; MENDES, 2022). This change becomes viable only when the concepts of sustainable construction are understood and applied, internalizing the need to "think globally, act locally" (SIEFFERT et al., 2014). With this new reality, the first GBL aimed at the construction industry emerged, where green projects would be assessed for desired environmental criteria, reducing consumption and waste and serving as an official acknowledgment for builders contributing to the environment (HE et al., 2018).

GBL aims to balance the social, environmental, and economic pillars and discover new strategies to incorporate environmentally friendly concepts into people's daily lives. The goal is to bring about a process of change, not just achieve certification. GBL are particularly important in developing countries where the construction industry holds significant economic importance due to infrastructure and housing demands (AKAN et al., 2017). In these countries, building certification can not only contribute to sustainability but also attract international investments by utilizing globally recognized labels. The primary international GBL include the Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (BREEAM), created in the United Kingdom, which established environmental assessment criteria for buildings and set standards for best sustainable practices (Ding et al., 2018), and the Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), developed by the United States Green Building Council (USGBC), a non-governmental organization that created LEED to define, standardize, and promote sustainable projects in the United States (STEFANUTO & HENKES, 2013).

Being one of the first certifications established, LEED has transcended the boundaries of its country of origin and is widely accepted in many others, not just for residential certification but also for commercial buildings and public spaces (CANDAŞ & TOKDEMIR, 2019; LU & ZHANG, 2016). In addition to energy consumption reduction, LEED considers other factors such as water consumption, atmospheric impact, waste generation, human experience, and project location. The goal is to promote green competition and raise consumer awareness of the importance of environmental performance in buildings (PASSOS & BRUNA, 2019).

In this context, the World Green Building Council emerged to adapt LEED to the reality of various countries, currently having 21 members, including the Brazil Green Building Council, which adapted certification parameters to Brazil's social and construction context (FASTOFSKI et al., 2017). With this new trend, GBL spread worldwide, playing a significant role in stimulating a paradigm shift (OBATA et al., 2019). However, it's important to note that despite the benefits gained through the process, implementing the LEED certification initially incurs additional costs in construction. According to the estimate by Uğur and Leblebici (2018), this cost increase can vary between 4% and 11% of the total budgeted value, considering both the cost of implementing measures and the bureaucracy for project certification, depending on the project's scale and intended level.

3. METHODS

For the conception of this study, an exploratory research with quantitative analysis was conducted to achieve the objective of measuring the energy and water consumption of a vertical residential green building. In this context, a green building refers to a vertical residential structure that meets the mandatory requirements for LEED certification (Envelope and Core). To accomplish this goal, the research was divided into four stages, detailed as follows:

- a) In the initial stage, the LEED requirements met by the studied green building were investigated, specifically those related to "Water Efficiency" and "Energy and Atmosphere."
- b) Subsequently, the electric energy consumption of the green building was measured and compared with the consumption of a conventional building, possessing similar standards and characteristics to its counterpart but without the implementation of any green construction technologies.

c) Similarly, water consumption data were collected for the green building and compared with the consumption of the same conventional building.

d) Finally, the findings from the energy and water consumption comparisons were analyzed, considering the impact of green building technologies and practices on the overall efficiency and sustainability of the construction.

By systematically following these four stages, this research aims to provide valuable insights into the energy and water efficiency of green residential vertical buildings and their impact on resource consumption in comparison to conventional structures. The data collected and analyzed in these stages contribute to a comprehensive understanding of the potential benefits and challenges associated with sustainable construction practices, particularly as they pertain to the LEED certification criteria.

3.1. Description of the Green Building and Conventional Building

The evaluated green building is a residential structure consisting of 30 typical floors, with one apartment per floor, offering two floor plan options of 195.01m² and 200.64m² of private area, along with 96 parking spaces and three elevators - one for regular use, one for service, and one for emergencies. The building's communal area includes facilities such as children's and adult swimming pools, a gourmet space, a multipurpose court, a gym, a party hall, a sauna, a playroom, and a game room. This development is situated in Belém, in one of the neighborhoods with the highest per capita income in the entire metropolitan region (DA SILVA & LOBO, 2019).

With the goal of offering a distinctive product, the management of this project initially decided to pursue LEED certification for Envelope and Core, aiming to achieve the Silver level. This would make the building the first residential development in the entire northern region of Brazil to attain an GBL. However, during the construction phase, the construction company chose not to proceed with the certification process due to the high costs associated with paying the fees required by LEED.

While the initial intention was to achieve LEED certification and demonstrate the commitment to environmental sustainability, the decision to forgo the certification highlights the financial challenges and trade-offs that construction companies often face when pursuing green building initiatives. This case underscores the complex considerations involved in integrating sustainable

practices into construction projects and the need to balance environmental goals with economic feasibility. Even so, several green building technologies were implemented in its construction, as shown in Table 01.

In Table 01, we also observe a comparison with the conventional building, investigated to enable a comparison with energy and water consumption data. According to Table 01, both buildings present very similar characteristics, such as area, purpose, common areas, number of floors, rooms, and bathrooms per apartment. However, they differ in the number of air-conditioned spaces and

Criteria	GREEN Building	Conventional building
Purpose	Residential	Residential
Area	195.01m ² e 200.64m ²	193.05m ² e 200.64m ²
Common area	Children's and adult swimming pools; Gourmet space; Sport court; Fitness space; Party hall; Spa; Playroom; Playground	Children's and adult swimming pools; Gourmet space; Sport court; Fitness space; Party hall; Playroom; Playground
Number of floors	30	30
Number of apartments	1	2
Number of bedrooms	3	3
Number of bathrooms	5	5
Number of elevators	3	3
Number of air-conditioned spaces	1 in each bedroom + 1 in the living room + 1 on the balcony, totaling 5	1 in each bedroom, totaling 5
Gourmet balcony	Yes	No
Use of porcelain tiles with a solar reflectance index between 55 and 45	Yes	No
Doors made of wood certified by the Forest Stewardship Council	Yes	No
Use of paints, sealers, and putty with fewer pollutants	Yes	No
Glass façade with Stick-type system	Yes	No
Change of cables in the electrical downcomer	Yes	No
Use of more economical crockery and metals	Yes	No
LED lamps in common areas	Yes	No
Elevators with more efficient energy consumption	Yes	No

Table 01: Comparison between the LEED building and the conventional building.
Source: Authors.

apartments per floor, resulting in higher electrical project demands for the Green building.

3.2. LEED REQUIREMENTS DIAGNOSIS

LEED, like many other GBL, operates on a scoring system, where there are mandatory requirements that all projects must meet, as well as optional ones that provide additional points for projects aiming to achieve higher levels of sustainability, such as Silver, Gold, or Platinum.

In order to attain the Silver level of LEED certification for Envelope and Core, the green building under study needed to earn points beyond the mandatory requirements. To achieve this, the construction company defined which requirements they would pursue and adopted various green construction practices and technologies with the aim of obtaining the certification.

However, with the inability to complete the certification process, some of these requirements might not have been fully implemented. As a result, this study conducted a thorough assessment of the requirements that were fulfilled by the green building.

The implementation diagnosis was carried out through document analysis and on-site inspections, involving a review of the implemented items in the "Water Efficiency" and "Energy and Atmosphere" categories. These categories are linked to the technologies and practices mandated by the certification, with the purpose of reducing the building's electricity and water consumption.

By rigorously evaluating the implementation status of these requirements, the study provides insight into the extent to which the green building adhered to the intended environmental goals and practices outlined by the LEED certification guidelines.

3.3. Energy Consumption

Next, an analysis of the energy savings achieved through the implementation of some of the LEED measures in the studied green building was conducted. This analysis aimed to verify the actual reduction in consumption in the building when compared to another building that followed conventional construction methods without any interventions aimed at GBL.

Through an examination of the green building's electrical design, the expected consumption for the residential units was identified based on average consumption and calculation methods established by the National Electric Energy Agency (ANEEL, 2015). The comparison

between the expected project consumption with the observed energy consumption is important because it allows considering distortions resulting from differences between the developments, such as the absence of air conditioning in the living room and balcony of the conventional building.

Next, was collected the energy consumption of the buildings in kilowatt-hours (kWh). The data was directly collected from the Individual Energy Meter (IEM) of each apartment and the communal area, collected over a period of 19 months, spanning from July 2019 to January 2021.

For the comparative analysis of the energy consumption, data regarding average consumption per inhabitant were utilized to avoid variations resulting from the number of inhabitants. Additionally, this analysis helped determine whether the expected consumption based on the design was in line with, below, or exceeded the actual consumption of the green building.

By performing this analysis, the study aimed to assess the tangible impact of LEED measures on energy consumption, thereby providing insights into the effectiveness of the green building's sustainable practices in contrast to a conventional building.

3.4. Water Consumption

In this phase, data regarding the monthly water consumption of each residential unit in the green building was collected, spanning from August 2020 to April 2021. This was achieved by tracking the recorded values directly from the water meter of each individual dwelling on a monthly basis, allowing for the identification of water usage patterns.

The key reference value, crucial for accurate result comparison, is set by the local water and sewage utility company, COSANPA, for new vertical buildings in the state of Pará. In the specific case under consideration, COSANPA establishes a total of 1,000 liters per day per residential unit with three or more bedrooms.

However, it was not possible to conduct a comparative analysis with the conventional building due to the absence of individual water meters in that particular structure. These meters were removed shortly after the issuance of the "Habite-se" document by the Fire Department, which is granted shortly after the building's delivery to clients.

Given the aforementioned limitations, two distinct comparisons can be made regarding this project:

(a) A comparison between the estimated consumption based on COSANPA's projections and the actual

consumption obtained.

(b) A comparison of the overall reduction in water usage between the obtained data during the specified period and the LEED-predicted water usage reduction based on the employed water efficiency technologies.

Through these comparisons, the study aimed to evaluate the extent to which the green building's water consumption aligned with both local regulatory expectations and LEED-predicted reductions, shedding light on the building's water-saving practices and the effectiveness of implemented water-efficient technologies.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The research produced significant results regarding the energy consumption of the green building in comparison to the structure that did not incorporate any green construction technologies. A significant improvement in electricity consumption was observed in the green building. However, it is worth noting that the water consumption of the green building exceeded that of the conventional building. These outcomes, alongside the diagnosis of the LEED requirements implemented in the green building, will be deliberated upon in the following sections.

The subsequent sections will delve into a comprehensive analysis of these findings, providing insights into the reasons behind the observed energy and water consumption patterns. Moreover, a detailed discussion will be presented on the extent to which the LEED requirements were successfully integrated into the green building, considering the factors that may have contributed to the divergent water consumption results.

By scrutinizing the data and the implementation of LEED standards, the study aims to offer a comprehensive understanding of the energy and water consumption dynamics, allowing for a nuanced interpretation of the observed outcomes. This analysis will facilitate a robust examination of the building's overall sustainability performance and provide valuable insights for future endeavors in green construction practices.

4.1. Results From The LEED Requirements Diagnosis

To provide a foundation for the research discussions, a diagnostic assessment was conducted to ascertain which green technologies were effectively implemented by the construction company in the "Water Efficiency" and "Energy and Atmosphere" categories, which are the focus of the study.

Through this diagnostic analysis, it was observed that all mandatory requirements in both categories were fulfilled by the construction company. Additionally, partial compliance was noted with the optional requirement to "optimize energy performance".

Concerning water credits, the mandatory criteria were met through the use of individualized meters and the selection of efficient fixtures and fittings with reduced flow rates, achieving the targeted 20% water savings for this category. Furthermore, the landscaping of the green building does not require a permanent irrigation system and is maintained at a low frequency, fully satisfying the mandatory LEED criteria for Envelope and Core.

Likewise, the requirements related to the "Energy and Atmosphere" category also encompassed the mandatory aspects. To achieve this, a specialized company was hired to conduct building commissioning and verification. Additionally, the building incorporated smart elevators, more efficient electrical cables, and an exterior cladding with higher reflectance index, enhancing thermal comfort and aiming for a 10% or greater reduction in electricity consumption. Moreover, all air conditioning units installed in common areas were selected to avoid refrigerants that harm the ozone layer, utilizing CFC-free options. Finally, as required by the electric utility company, individual energy meters were installed for each consumer unit.

In addition to the technologies implemented, these interventions enabled the partial achievement of the "Optimize Energy Performance" credit. According to the report from the company that conducted the LEED certification process, it was possible to achieve a 14% reduction in electricity consumption for the green building through computational simulations. This outcome highlights the successful integration of energy-efficient strategies and their positive impact on overall energy consumption, aligning with the goals of sustainability and environmental responsibility set by the LEED certification.

4.2. Results From Energy Consumption

The analysis of energy efficiency was conducted after identifying the implemented green technologies. For this, the project's energy consumption was estimated, and then the per capita consumption was measured to ensure that the data were not distorted by apartments with varying occupancy rates.

The project's energy consumption was calculated based on average consumption data established by the National Program for Electric Energy Conservation

(PROCEL, 2010) and updated with current appliances and equipment data obtained from the architectural projects of the buildings. As a result, a higher estimated energy consumption was obtained for the green building (913.63 kWh), mainly due to the cooling of the living room and gourmet balcony, which does not occur in the conventional building (604.69 kWh).

Regarding the energy consumption of the buildings. The data were collected on a monthly basis from the electricity bill statements, measured in kWh, over a period of 19 months, spanning from July 2019 to January 2021. Moreover, apartments with incomplete or no consumption data, as well as unoccupied units, were excluded from the analysis to prevent negative distortion of the obtained results. Table 02 presents the estimated consumption and the average of the measured consumption.

Descrição	Consumption of electrical energy (kWh)	
	Green building	Conventional building
Baseline project (PROCEL,2010)	913.63	604.69
Actual on-site measured average	688.84	506.81
Reduction in consumption compared to the baseline project	24.60%	16.19%

Table 02: Comparison between projected electricity consumption and measured average consumption.

Source: Authors.

The results demonstrate that the green building achieved a greater reduction in energy consumption (24.60%) compared to the project than the conventional building (16.19%), despite the conventional building having a lower average energy consumption.

This greater reduction in consumption compared to the project demonstrates the better energy efficiency of the green building, resulting from the technologies employed. Although the green building generated higher energy consumption values, these values were lower than expected considering the electrical project and the expected consumption patterns for both buildings.

To corroborate these results, the monthly energy consumption per person was calculated. Figure 01 reveals that the average per capita consumption of the two buildings is statistically similar, showing a minor variation over the period. Within this timeframe, the average energy consumption of the green construction was 211.25 kWh, compared to 214.91 kWh for the conventional building, resulting in a variation of 1.73%.

4.3. Results From Water Consumption

These results demonstrate that despite an expected higher consumption per person for the green building, both constructions exhibit similar consumption patterns. This can be attributed to the green technologies employed, which, in the studied case, were able to equalize energy consumption per person even when considering the more demanding consumption conditions adopted in the electrical project of the green building.

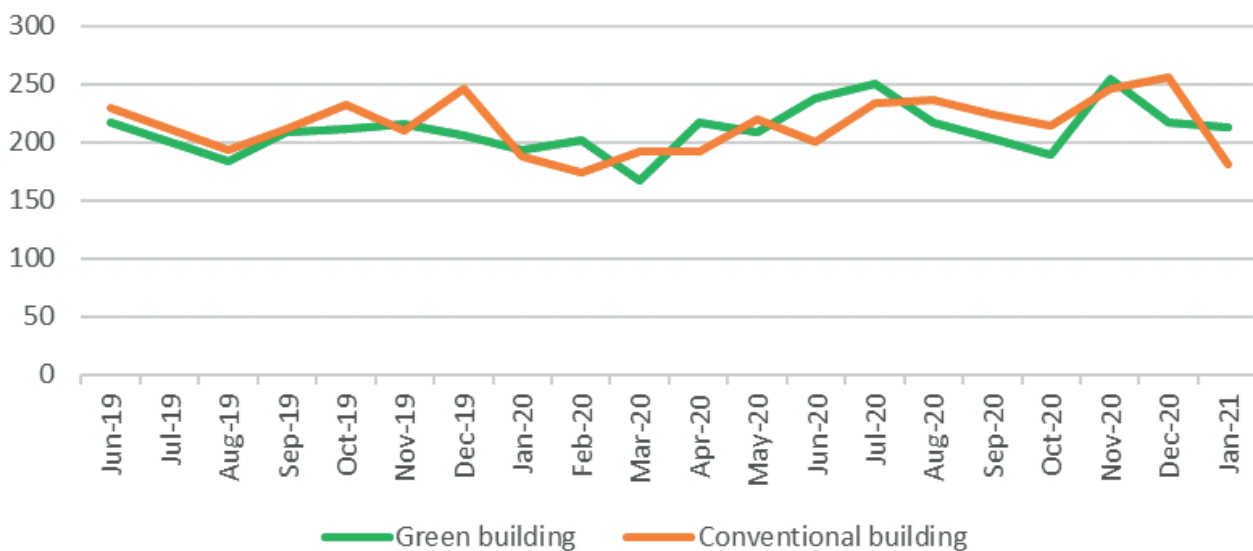


Figure 01: Comparison of monthly electricity consumption per person in kWh.

Source: Authors.

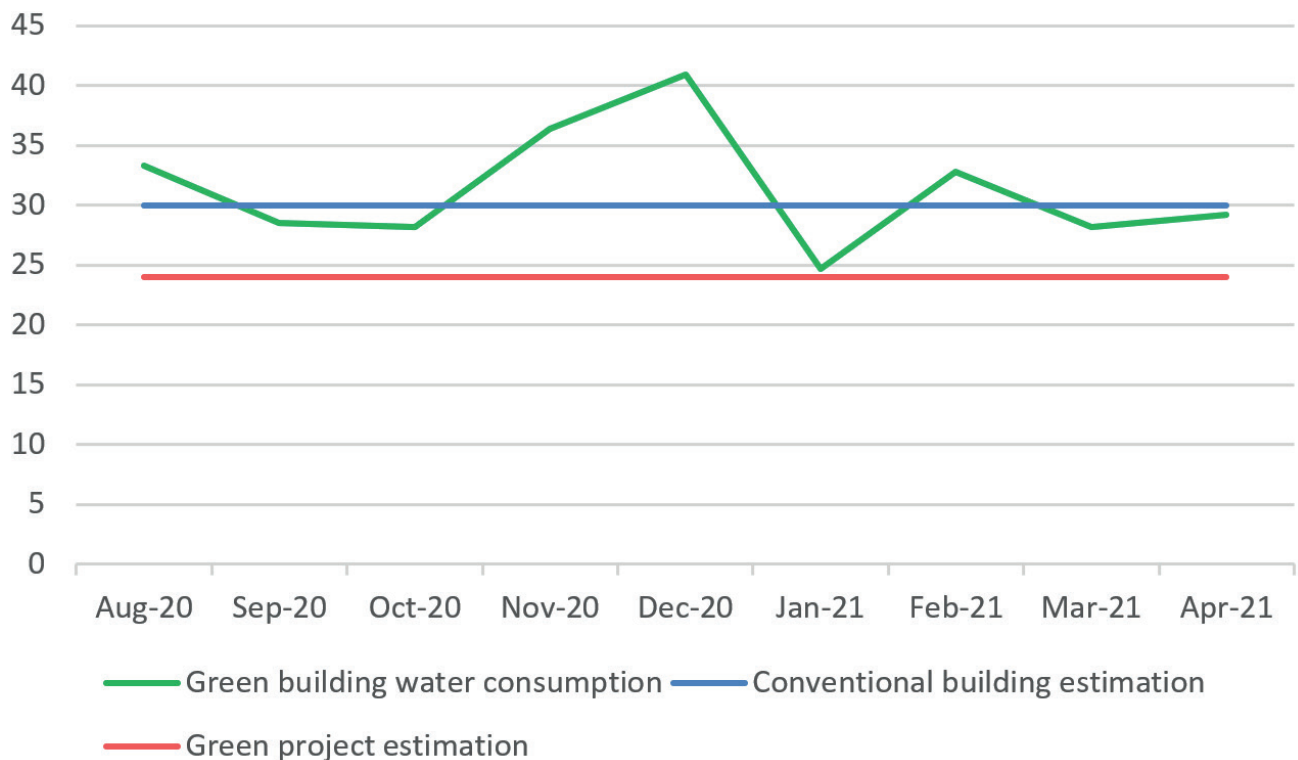


Figure 02: Comparison of monthly water consumption per person in kWh.
Source: Authors.

Another evaluated factor was the individual water consumption data of each housing unit, in order to investigate how they correlate with the project estimate and the anticipated reduction due to the adoption of green technologies.

This category, named "Rational Water Use," has a singular prerequisite: achieving a minimum 20% reduction in the overall consumption of this water resource. By doing so, it becomes possible to optimize efficiency and alleviate the burden on the local utility's water supply and sewage collection systems.

The construction company implemented several green technologies to attain this benchmark. Among these, the installation of dual-flush toilets, aerator-equipped faucets, and more efficient showers were introduced to achieve the desired water savings.

Considering the provided information, monthly consumption data per housing unit in cubic meters were gathered over the past nine months. These data points are displayed in Figure 02, alongside the reference line set by the water and sewage utility, as well as the minimum 20% reduction stipulated by LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).

Figure 02 provides a clearer understanding of the water consumption pattern over the observed period. In general, the average water consumption of the green building apartments remained above the projected

estimate, and consequently, above the LEED ideal. Over the nine-month period, an average of 31.35 cubic meters of water was consumed per unit, exceeding the estimated 30 cubic meters by COSANPA.

In percentage terms, the green construction recorded a water consumption 4.51% higher than the utility reference and 30.64% higher than the LEED certification projection. Throughout the nine months of observation, in five of them, the building's consumption values fell below COSANPA's estimate, yet still remained above the ideal reduction envisioned to attain LEED category credits.

On the other hand, in the other four months, the recorded value exceeded both the certification's expectation and the utility's estimate. Supporting these findings, Menassa et al. (2012) concluded that certification alone does not necessarily result in the proposed reductions in water and energy aspects. In the cases studied by the authors, most evaluated buildings were unable to even achieve the minimum result expected by the certification.

Another study conducted by Alborz and Berardi (2015) observed similar challenges in reducing water consumption in green constructions. The study assessed data from two hundred schools in the United States and observed that despite the implementation of green technologies, green constructions did not exhibit significant differences in water consumption compared to

conventional ones. This phenomenon was partially attributed to a reduction in water consumption efficiency, amounting to around 5% over a total of five years.

However, there are authors who obtained different results. Kern et al. (2016) documented water consumption 31% lower than projected for a LEED-certified commercial building in Brazil. Similarly, Rodrigues et al. (2019) indicated a 70% reduction in water consumption due to LEED certification after the renovation of the Mineirão stadium.

This underscores that other factors must be influencing these variations in water consumption in green constructions. Aiming to identify this cause, Alborz and Berardi (2015) investigated the consumption habits of green construction users through post-occupancy surveys, revealing, for example, an average bathing duration 50% longer than estimated by LEED. These data suggest that the behavior of green construction users significantly influences the actual water consumption of the building and may even outweigh the superior efficiency of the employed technologies.

This reality might be even more pronounced in Brazil, particularly in the northern region of the country, given the abundance of water in the Amazon, where users are more prone to higher consumption and neglect in water resource management, resulting in high water loss rates during distribution (COSAMPA, 2020), disregard for basic sanitation infrastructure (IBGE, 2017), and water pollution (SANT'ANA, VITAL & SILVA, 2020).

Furthermore, the high water consumption of the green building can be attributed to the inadequacy of LEED requirements for constructions in the region. In fact, the lack of requirements adapted to the conditions of each locality is a criticized aspect of the certification (DEVINE, MCCOLLUM, 2019; SABBAGH, MANSOUR & BANAWI, 2019). A solution to this issue may involve adopting a greater number of requirements (ADEKANYE, DAVIS & AZEVEDO, 2020; FLOWERS, MATISOFF & NOONAN, 2019) and reducing mandatory requirements, without, however, reducing the required score. This strategy could favor constructions in climates entirely different from that for which LEED was created, and may even benefit lower-cost projects by allowing developers to choose requirements that provide greater benefits, such as favoring low cost, marketing, or environmental impact reduction, according to the project's objectives.

5. CONCLUSION

This study aimed to assess the energy and water efficiency resulting from the implementation of mandatory

requirements for LEED certification (Envelope and Core) in a vertical residential building located in the Amazon. To achieve this, data on energy and water consumption were collected from a Green building and a conventional building with similar characteristics. As a result, this study found that the implementation of the mandatory LEED certification requirements led to a reduction in electricity consumption of 24.6% compared to the projected values, and an energy savings of 1.73% compared to the building constructed without any green technology implementations. This demonstrates that building certification and the adoption of green technologies are a viable path towards sustainability in the construction and operation of residential buildings.

On the other hand, the water consumption of the green construction was 30.64% higher than what would have been expected based on the LEED requirements met (Envelope and Central Core). In the study, this was attributed to higher water consumption behavior by users in the region, considering the warmer climatic zone that demands more water for personal hygiene, as well as a possible neglect of water due to its abundance in the Amazon region. This result highlights the importance of user awareness and behavioral change, as despite the implementation of green technologies for water efficiency, users are the primary drivers of performance.

Furthermore, the high water consumption of the green building can also be attributed to the inadequacy of LEED criteria for the Amazonian reality. This is a result of its inability to meet the realities of all locations. To address this issue, greater flexibility in the LEED certification process is crucial, such as adopting a greater number of requirements and reducing the number of mandatory requirements. This would favor the certification process for small businesses, allowing them to adopt sustainable construction practices compatible with local conditions, user behavior patterns, and their investment capacity.

As a suggestion for future research, it is recommended to investigate the factors that influence high water consumption in hot and tropical climates and their impact on the observed results.

REFERENCES

ABOU ZAHR DIAZ, M., ALAWIYEH, M. A., & GHABOURA, M. (2019). Depletion of the Land Resources and Its Effect on the Environment. In: **14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019)**, (p. 443–444). Belgorod, Russia .Springer International Publishing.

ADEKANYE, O. G.; DAVIS, A.; AZEVEDO, I. L. (2020). **Federal policy, local policy, and green building certifications in the U.S. Energy and Buildings**, v. 209, p. 109700. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109700>.

AKAN, M. Ö. A., DHAHALE, D. G., & SARKIS, J. (2017). Greenhouse Gas Emissions in the Construction Industry: An Analysis and Evaluation of a Concrete Supply Chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1195-1207. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.225>.

AKHTAR, Ali, SARMAH, & AJIT K. (2018). Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 262-281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.085>.

ALBORZ, N., BERARDI, U. (2015). A post occupancy evaluation framework for LEED certified U.S. higher education residence halls. **Procedia Engineering**, v. 118, p. 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.399>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA-ANEEL. (2015). **Aprenda a calcular o consumo de seu aparelho e economize energia**. Recuperado em 06 de abril de 2015, de [www. http://www2.aneel.gov.br](http://www2.aneel.gov.br).

CLAY, K.; SEVERNINI, E.; SUN, X. (2023). Does LEED certification save energy? Evidence from retrofitted federal buildings. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 121, n. August, p. 102866. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2023.102866>.

SANT'ANA, A.C; VITAL, J.S.M & DA SILVA, H.E.B (2020). INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL DE BOA VISTA, RORAIMA, AMAZÔNIA BRASILEIRA. Revista De Gestão De Água Da América Latina, 16(2019), **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 2020, Vol.16 (2019).

ATANDA, J. O., OLUKOYA, O. A. P.(2019). Green building standards: opportunities for Nigeria. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 366–377. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.189>.

ASSAF, A. OF S. OF S. A.(2011). **Towards a Low Carbon City: Focus on Durban**. South Africa. Pretoria:

Academy of Science of South Africa (ASSAf).

AWADH, O.(2017). Sustainability and green building rating systems: LEED, BREEAM, GSAS and Estidama critical analysis. **Journal of Building Engineering**, v. 11, p. 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.03.010>.

BEA, U. S. B. OF E. A. (2019) **Gross Domestic Product by Industry: Fourth Quarter and Year**. www.bea.gov.

BENITES, H. S., OSMOND, P., & ROSSI, A. M. G. (2020) Developing Low-Carbon Communities with LEED-ND and Climate Tools and Policies in São Paulo, Brazil. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 146, p. 01–14. [https://doi-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000545](https://doi-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000545).

BROMAN, G. I.; ROBÈRT, K. H.(2017) A framework for strategic sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 17–31. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.121>.

CANDAŞ, A. B.; TOKDEMIR, O. B. (2019) A unified approach to evaluate green hospitals' certification criteria. **Journal of Construction Engineering, Management & Innovation**, v. 2, n. 3, p. 157–166. <https://doi.org/10.31462/jcemi.2019.03157166>.

COSAMPA, **Companhia de Saneamento do Pará**. (2020). Relatório de gestão – 2020. Acessado em 15 de junho de 2023, em: <https://www.cosanpa.pa.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/RELATORIO-DE-GESTAO-2020.pdf>

DA SILVA, R. Do S.C.; LOBO, M. A. A. (2019). Homicide growth in the city Belem (Brazil): Between poverty/ social vulnerability and drug trafficking. **Urbe**, v. 11, p. 1–17. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11350424.v1>.

DARKO, A. CHAN, A. P.C. HUO, X. & OWUSU-MANU, D.(2019) A scientometric analysis and visualization of global green building research. **Building and Environment**, v. 149, p. 501–511. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.059>.

DEVINE, A.; MCCOLLUM, M. (2019). Understanding social system drivers of green building innovation adoption in emerging market countries: The role of foreign

direct investment. **Cities**, v. 92, n. March, p. 303–317. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.03.005>.

DING, Z. FAN, Z., TAM, W.Y.V., BIAN, Y., Li, S., ILLANKOON, I.M., & MOON, S. (2018). Green building evaluation system implementation. **Building and Environment**, v. 133, p. 32–40, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.012>.

DI VITA, G. (2006). Natural resources dynamics: Exhaustible and renewable resources, and the rate of technical substitution. **Resources Policy**, v. 31, n. 3, p. 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2007.01.003>.

ELKHAPER, B.; KIANMEHR, P.; DOCZY, R. (2021). Benefits of retrofitting school buildings in accordance to LEED v4. **Journal of Building Engineering**, v. 33, n. April 2020, p. 101798. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101798>.

ESTANQUEIRO, B. SILVESTRE, J.D. BRITO, J. & PINHEIRO, M.D. (2018). Environmental life cycle assessment of coarse natural and recycled aggregates for concrete. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 22, p. 429–449. <https://doi.org/10.1080/19648189.2016.119716>

FIALHO, K. E. R. COSTA, H. N., LIMA, S. H. O., & NETO, J. P. B. (2014). Aspectos Econômicos da Construção Civil no Brasil. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, n. 1, p. 1105–1114. ALAGOAS: DECC.

FLOWERS, M. E.; MATISOFF, D. C.; NOONAN, D. S. (2019). For what it's worth: evaluating revealed preferences for green certification. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 62, n. 5, p. 843–861. <https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1447444>.

FVC. Fundação Vanzolini e Cerway. (2023) **Guia prático do referencial da qualidade ambiental do edifício: Edifícios Não Residenciais**. Fundação Vanzolini e Cerway-2018. Recuperado em 06 de abril de 2023, de www.vanzolini.org.br.

GOMES, W.M. B. (2018) **Potencialidades e Desafios das Energias Renováveis para o Desenvolvimento Sustentável: Uma Análise do Programa de Certificação de Energia Renovável no Brasil**

(Dissertação de mestrado) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife/PE.

GOMES, C. P., LEITE, G. U., SENA, R. W., & ANDRADE, E. M. G. (2021). Impacto ambiental e gerenciamento de resíduos sólidos advindos da construção civil no Brasil: uma revisão de literatura. **Revista Multidisciplinar**, v. 15, ed. 55, p. 1-14. <https://doi.org/10.14295/online.v15i55.3108>.

GONÇALVES, K. Dos S. (2014). Indicador de vulnerabilidade socioambiental na Amazônia Ocidental. O caso do município de Porto Velho, Rondônia. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 9, p. 3809–3817, 2014. <https://doi.org/10.1590/1413-81232014199.14272013>.

G1. (2023). **2023 deve ser o ano mais quente em 125 mil anos, diz observatório europeu**. Access in 11/23: <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2023/11/08/2023-deve-ser-o-ano-mais-quente-dos-ultimos-125-mil-anos-dizem-cientistas.ghtml>

HE, Y., Kvan, T., Liu, M., & Li, B. (2018). How green building rating systems affect designing green. **Building and Environment**, v. 133, p. 19–31. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.007>.

HOEPPE, P. (2016). Trends in weather related disasters - Consequences for insurers and society. **Weather and Climate Extremes**, v. 11, p. 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.002>.

HYDE, J. L.; BOHLMAN, S. A.; VALLE, D. (2018). Transmission lines are an under-acknowledged conservation threat to the Brazilian Amazon. **Biological Conservation**, v. 228, p. 343–356. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.10.027>

Huang, B., Wang, X., Kua, H., Geng, Y., Bleischwitz, R., & Ren, J. (2018). Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, p. 36–44, 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Acessado em 15 de junho de 2023, em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pnsb/pnsb-2017>

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). **Projeção da população do Brasil-2010**. Rio de Janeiro: IBGE. Recuperado em 15 de agosto de 2020, de www.ibge.gov.br

KERN, A. P., ANTONIOLLI, C. B., WANDER, P. R., MANCIO, M., & STUMPF GONZÁLEZ S. M. A. (2016) Energy and water consumption during the post-occupancy phase and the users' perception of a commercial building certified by leadership in energy and environmental design (LEED). **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 826–834. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.081>.

LIMA, R. S., RIOS, M. S. S. (2019). Análise comparativa entre a certificação fator verde de Fortaleza-CE e demais certificações ambientais. **Revista Tecnologia**, v. 40, p.1-21. <https://doi.org/10.5020/23180730.2019.7850>.

LONGONI, A., LUZZINI, D., & GUERCI, M. (2018). Deploying environmental management across functions: the relationship between green human resource management and green supply chain management. **Journal of Business Ethics**, v. 151, p. 1081–1095. <https://doi.org/10.1007/s10551-016-3228-1>.

LUO, K.; SCOFIELD, J. H.; LUCY, Y. (2021). Water savings of LEED-certified buildings. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 175, n. August, p. 105856. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105856>

LU, Y., ZHANG, X. (2016). Corporate sustainability for architecture engineering and construction (AEC) organizations: Framework, transition and implication strategies. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 911–922, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.046>.

MCKINLEY, D. C. MILLER-RUSHING, A. J., BALLARD, H. L.; BONNEY, R.; BROWN, H.; COOK-PATTON, S. C., EVANS, D. M., FRENCH, R. A.; PARRISH, J. K., PHILLIPS, T. B., RYAN, S. F., SHANLEY, L. A., SHIRK, J. L., STEPENUCK, K. F., WELTZIN, J. F., WIGGINS, A.; BOYLE, O. D.; BRIGGS, R. D., CHAPIN III, S. F., HEWITT, D. A.; PREUSS, P. W., SOUKUP, M. (2017). A Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection. **Biological Conservation**, v. 208, p. 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.015>.

MENASSA, C. D., MILLER-RUSHING, A. J., BALLARD, H. L., BONNEY, R., BROWN, H., COOK-PATTON, S. C.,

EVANS, D. M., FRENCH, R. A., PARRISH, J. K., PHILLIPS, T. B., RYAN, S. F., SHANLEY, L. A., SHIRK, J. L., STEPENUCK, K. F., WELTZIN, J. F., WIGGINS, A., BOYLE, O. D., BRIGGS, R. D., CHAPIN III, S. F., HEWITT, D. A., PREUSS, P. W., & SOUKUP, M. A. (2012) Energy consumption evaluation of u.s. navy leed-certified buildings. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 26, p. 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.015>.

MENDES, E. J. O. (2022). **Certificação ambiental Selo Casa Azul + Caixa de um empreendimento de habitação social na cidade de Caruaru**, Pernambuco. (Trabalho de Conclusão de Curso) -Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru.

NATIONAL BUREAU OF STATISTICS OF CHINA-NBSC. (2019). **Quarterly Annual Regional Data**. Recuperado em 15 de agosto de 2019, de www.Data.stats.gov.cn.

OBATA, S. H., AGOSTINHO, F., ALMEIDA, C. M. V. B., & GIANNETTI, B. F. (2019). LEED certification as booster for sustainable buildings: Insights for a Brazilian context. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 145, p. 170–178. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.037>.

OLIVEIRA, A. S. (2007). **Análise Ambiental da Viabilidade de Seleção de Produtos da Construção Civil Através da ACV e do Software BEES 3.0**. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

QIAO, H., ZHEN, F., JIANG, H., DONG, K. (2019). Science of the Total Environment The greenhouse effect of the agriculture-economic growth-renewable energy nexus : Evidence from G20 countries. **Science of the Total Environment**, v. 671, p. 722–731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.336>.

PASSOS, L. S., BRUNA, G. C. (2019). Certificação ambiental leed: mapeamento em são paulo. **MIX Sustentável**, v. 5, p. 41–54. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n3.41-54>.

CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA-PROCEL. (2010). **Tabela com uma estimativa de consumo médio mensal de eletrodomésticos**. Recuperado em 15 de outubro de 2019, de www.procelinfo.com.br.

- RECH, A. S., DEBRASSI, J., LIRA, L.H., THOMAZ, O., & SOUZA, M.A. (2018). Certificação leed e sua importância nas construções brasileiras. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, p. 300-312. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018300-312>.
- RODRIGUES, M. S., PEREIRA, M. B., GOMES, R. L. da, BARBOSA, B. B. (2019). CERTIFICAÇÃO LEED: A REFORMA sustentável do estádio Mineirão e suas vantagens. **Revista Teccen**, v. 12, p. 30-38. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.001.AO06>.
- ROSADO, L. P., VITALE, P., PENTEADO, C.S.G., & ARENA, U. (2017). Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 151, p. 634-642. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.068>.
- SABAPATHY, A.; RAGAVAN, S. K. V.; VIJENDRA, M.; NATARAJA, A. G. (2010). Energy efficiency benchmarks and the performance of LEED rated buildings for Information Technology facilities in Bangalore, India. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 11, p. 2206-2212. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810002306>
- SABBAGH, M. J.; MANSOUR, O. E.; BANAWI, A. A. (2019). Grease the green wheels: A framework for expediting the green building movement in the Arab world. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 20. <https://doi.org/10.3390/su11205545>.
- SANTANA, W.B., MAUÉS, L.M.F. (2022). Environmental Protection Is Not Relevant in the Perceived Quality of Life of Low-Income Housing Residents: A PLS-SEM Approach in the Brazilian Amazon. **Sustainability**, v. 14, p. 13171. <https://doi.org/10.3390/su142013171>
- SANTANA, W. B., PEREIRA, L. M., FREIRES, F. G. M., & MAUÉS, L. M. F. (2023). Analysis of the barriers to the adoption of green buildings labels in Brazil by the Validated Interpretative Structural Modeling (VISM) technique. **Journal of Cleaner Production**, v. 414, p. 137642. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137642>.
- SANTOS, P.C., SILVA, S.R., & CERQUEIRA, C.A. (2015). Water Consumption in Construction Sites in the City of Recife/PE. **European Journal of Government and Economics**, v. 20, 1711-1726.
- SCHAMNE, A. N., NAGALLI, A., & SOEIRO, A. A. V. (2021). Análise comparativa dos métodos de certificação ambiental sob a perspectiva dos resíduos de construção civil e da modelagem da informação da construção. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, p. 399-415. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0032>.
- SIEFFERT, Y., HUYGEN, J. M., & DAUDON, D. (2014). Sustainable construction with repurposed materials in the context of a civil engineering and architecture collaboration. **Journal of Cleaner Production**, v. 67, p. 125-138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.018>.
- SILVA, V. G., PARDINI, A. F. (2010). Contribuição ao entendimento da aplicação da certificação LEEDTM no Brasil com base em dois estudos de caso. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, ed. 3, p. 81-97. <https://doi.org/10.20396/parc.v1i6.8634490>.
- SILVA, F. H. P., CARCELES, J. N., RAMOS, M. L., GOMI, M. K., CABRAL, V. R., & VADAS, R. G. (2019). Certificação LEED: Estudo de caso de Empreendimento com Selo Platina e Análise de seus Benefícios. **Adelpha Repositório Digital**, São Paulo/SP, 12 dez. 2019.
- SIVIRINO, K. J., FISCHER, Y. P., & LINKE, P. P. (2021). Construção sustentável: uma reflexão necessária. **Revista Monografias Ambientais**, v. 1, p. 1-14. <https://doi.org/10.5902/2236130864001>.
- SONDEREGGER, T., DEWULF, J., FANTKE, P., SOUZA, D.M., PFISTER, S., STOESEL, F., VERONESI, F., VIEIRA, M., WEIDEMA, B., & HELLWEG, S. (2017). Towards harmonizing natural resources as an area of protection in life cycle impact assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, p. 1912-1927. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1297-8>.
- SODIQ, A., BALOCH, A.A.B., KHAN, S.A., SEZER, N., MAHMOUD, S., JAMA, M., & ABDELAAL, A. (2019). Towards modern sustainable cities: Review of sustainability principles and trends. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 972-1001. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.106>.
- STEFANUTO, Á. P. O., HENKES, J. A. (2013). Critérios para obtenção da certificação LEED: Um estudo de caso no supermercado Pão de Açúcar em Indaiatuba/SP.

Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 1, p. 282–330. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v1e22012282-332>.

TABASSI, A. A., ROUFECHAEI, K.M., RAMLI, M., BAKAR, A.H.A, ISMAIL,R., & PAKIR,A.H.K. (2016). Leadership competences of sustainable construction project managers. **Journal of Cleaner Production**, v. 124, p. 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.076>.

UĞUR, L. O., LEBLEBICI, N. (2018) An examination of the leed green building certification system in terms of construction costs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. March 2016, p. 1476–1483. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.210>.

USGBC. (2023). **US Green Building Council - Projects** [WWW Document]. URL <https://www.usgbc.org/projects> (accessed 2.24.23).

YUSOF, N., AWANG, H., & IRANMANESH, M. (2017). Determinants and outcomes of environmental practices in Malaysian construction projects. **Journal of Cleaner Production**, v. 156, p. 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.064>.

ZAMAN,K.,ABDULLAH,I.,&ALI,M.(2017).Decomposing the linkages between energy consumption, air pollution, climate change, and natural resource depletion in Pakistan. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 36, p. 638–648. <https://doi-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/10.1002/ep.12519>.

ZHAO, D., MIOTTO, A. B., SYAL, M., & CHEN, J. (2019). Framework for Benchmarking green building movement: A case of Brazil. **Sustainable Cities and Society**, v. 48. p.101545 <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101545>.

ZHANG, L.; WU, J.; LIU, H. (2018). Turning green into gold: A review on the economics of green buildings. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, n. November 2017, p. 2234–2245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.188>

AUTHORS

RAFAEL SANTOS DE MAGALHÃES, Mestre | UFPA – Universidade Federal Do Pará | Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá | Cep: 66075-110 | Vinculo: Mestrado | Belém, Pará - PA, Brasil, | raphamag77@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1560-3707

WYLLIAM BESSA SANTANA, Doutor | IFPA – Instituto Federal do Pará | Vínculo: Professor | Belém, Pará - PA, Brasil | Rua Rio de Janeiro, 3322, Francilândia | CEP: 68440-000 | Email: wylliam.santana@ifpa.edu.br

ORCID: 0000-0002-1762-8617

LUIZ MAURÍCIO FURTADO MAUÉS, Doutor | UFPA – Universidade Federal do Pará | RUA AUGUSTO CORRÊA, 01, GUAMÁ | CEP: 66075-110 | Vínculo: Professor | Belém, Pará-PA, Brasil | Email: maues@ufpa.br

ORCID: 0009-0004-9235-6334

GLEYDE IZABELA FERNANDES CHAVES, Mestranda | UFPA – Universidade Federal Do Pará | Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá | Cep: 66075-110 | Vínculo: Mestrado Em Andamento | Belém, Pará-PA, Brasil | g.lzabelaeng@gmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

MAGALHÃES, Rafael Santos de; SANTANA Wylliam Bessa; MAUÉS, Luiz Maurício Furtado; CHAVES, Gleyde Izabela Fernandes. *MIX Sustentável*, v. 9, n. 10, p. 93-108, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.93-108>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.93-108).

SUBMETIDO EM: 24/08/2023

ACEITO EM: 20/12/2023

PUBLICADO EM: 26/03/2024

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRedit Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

RSM: Conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology and writing – original draft.
WBS: Data curation, formal analysis, investigation, validation, visualization, writing – original draft, and writing – review & editing.

LMFM: Conceptualization, funding acquisition, methodology, project administration, supervision and visualization.

GIFC: Visualization and writing – review & editing.

Conflict of interest: nothing has been declared.

NATURE-BASED SOLUTIONS (NBS) IN A SMART CITY IN SOUTHERN BRAZIL

SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA (SBN) EM UMA CIDADE INTELIGENTE NO SUL DO BRASIL

SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (SBN) EN UNA CIUDAD INTELIGENTE EN EL SUR DE BRASIL

GRAZIELA BREITENBAUCH DE MOURA, Dra. | UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí, Brasil

TATIANE SILVA HRYSYKI | UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí, Brasil

JOAQUIM OLINTO BRANCO, Dr. | UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí, Brasil

ABSTRACT

This research aims to analyze nature-based solutions (NBS) in the management of resource (re)naturalization processes in a smart city. For this, it describes the planning, execution, management, maintenance and monitoring of management that develops actions with the use of NBS in a smart city. The article presents a qualitative approach methodology based on the interpretative paradigm using a single case study with the descriptive-exploratory purpose of the research. The case is linked to the actions and movements implemented by the Sustainable Itajaí Institute - INIS in the municipality of Itajaí, located in the State of Santa Catarina (SC), Brazil. It is noticed that the increase in public policies aimed at the environment and ecosystems brings results so that management can, beyond inspection, be participatory and socializing, mediating sustainable movements and actions with civil society and the private sector. The smart city, with the help of INIS, has projects aimed at the development of NBS that can be adapted and replicated in regions, cities and countries.

KEYWORDS

Nature-based solutions; smart city; sustainability; environment.

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo analisar soluções baseadas na natureza (SBN) na gestão de processos de (re)naturalização dos recursos em uma cidade inteligente. Para isso, descreve o planejamento, a execução, o manejo, a manutenção e o acompanhamento de uma gestão que desenvolve ações com o uso de SBN em uma cidade inteligente. O artigo apresenta a metodologia de abordagem qualitativa fundamentada no paradigma interpretativo utilizando o estudo de caso único com propósito descritivo-exploratório da pesquisa. O caso está vinculado às ações e movimentos implantados pelo Instituto Itajaí Sustentável - INIS do município de Itajaí, localizado no Estado de Santa Catarina (SC), Brasil. Percebe-se que o incremento de políticas públicas voltadas ao ambiente e ecossistemas traz resultados para que a gestão possa além da fiscalização, ser participativa e socializadora mediando movimentos e ações sustentáveis junto à sociedade civil e ao setor privado. A cidade inteligente, com o auxílio do INIS, possui projetos voltados ao desenvolvimento de SBN que podem ser adaptados e replicados em regiões, cidades e países.

PALAVRAS-CHAVE

Soluções baseadas na natureza; cidade inteligente; sustentabilidade; ambiente.

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo analizar soluciones basadas en la naturaleza (SBN) en la gestión de procesos de



(re)naturalización de recursos en una ciudad inteligente. Para ello describe la planificación, ejecución, gestión, mantenimiento y seguimiento de una gestión que desarrolla acciones con el uso de SBN en una ciudad inteligente. El artículo presenta una metodología de abordaje cualitativo basada en el paradigma interpretativo utilizando el estudio de caso único con finalidad descriptivo-exploratoria de la investigación. El caso está vinculado a las acciones y movimientos implementados por el Instituto Itajaí Sustentable - INIS en el municipio de Itajaí, ubicado en el Estado de Santa Catarina (SC), Brasil. Se advierte que el incremento de las políticas públicas dirigidas al medio ambiente y los ecosistemas trae resultados para que la gestión, más allá de la fiscalización, sea participativa y socializadora, mediando movimientos y acciones sostenibles con la sociedad civil y el sector privado. La ciudad inteligente, de la mano del INIS, cuenta con proyectos orientados al desarrollo de SBN que pueden ser adaptados y replicados en regiones, ciudades y países.

PALABRAS CLAVE

Soluciones basadas en la naturaleza; ciudad inteligente; sostenibilidad; ambiente.

1. INTRODUCTION

Global changes caused by human actions have resulted in substantial problems. The new geological epoch we are experiencing, called the Anthropocene period, was coined by biologist Eugene Stoermer in the 1980s and popularized by Nobel Prize winner in Chemistry Paul Crutzen. The Anthropocene period is derived from the Greek roots "Anthropos" (man) and "cenos" (new) - a suffix used in geology for all eras of the Quaternary period and comes from the modification of our environment by human action. This process has resulted in changes to the climate system, deterioration of the balance of the biosphere and biodiversity, pollution of rivers and oceans by microplastics and different chemical substances, changes in nitrogen levels due to the extensive use of fertilizers in agriculture, extinction of species of fauna and flora worldwide, among others (RODRIGUES, 2017; SCHEFFRAN, 2023).

The great challenge will be to meet the demand for fair and sustainable development that includes citizens, communities, cities and nations to find solutions without endangering ecosystems (METZGER ET AL., 2019). "Thinking locally and acting globally" and "acting differently, thinking differently, and interacting differently" are expressions that must be put into practice by governments and communities in the most diverse political, social, economic, and environmental spheres. Studies on water have presented and revealed plans for structuring and managing water systems for the chain; the urban water cycle for ecological water in terms of effluent quality (FUTSELAARA ET AL., 2007; DAI, 2019; UNESCO; UN-WATER, 2020), rainwater harvesting and reuse (TUGOZ ET AL., 2017), wastewater treatment and water management (TREVISAN; ORSSATTO, 2017), rural areas in the use of water in plantations (EBERHARDT; SCHIOCCHET, 2015; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2017) and groundwater (CABRAL ET AL., 2008).

The World Water Development Program of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO (UNESCO; UN-WATER, 2020) reported in the United Nations World Water Development Report 2020 that globally around 70% of water is used for agriculture, 20% is consumed by industries including power generation, and around 10% is used for domestic consumption in households.

In Brazil, rapid urbanization in recent decades has led to radical changes in cities with a series of problems related to the scarcity of fresh water and water supply costs that require planning and management focused on improvements and solutions for fair sustainable development. The intense process of rural exodus, which occurred in the

1970s and 1980s due to the mechanization of agricultural production, caused rural workers to move to the cities in search of job opportunities, generating the phenomenon of metropolization, especially in the capital cities (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2015). Furthermore, the increase in the number of public and private water concessions in Brazil (VARGAS; LIMA, 2004; METZGER ET AL., 2019) and around the world (LOBINA, 2005) depends on appropriate government reforms and incentives to create models that are efficient for the socio-environmental and local conditions of implementation.

There is a need to (re)design water infrastructure and nature-based ecosystems in search of sustainable advantages for the development of technologies and human interactions. Nature-based solutions (NBS) are natural and built systems that use physical, chemical, and microbiological treatment processes that form the scientific and engineering principles for water and wastewater treatment and hydraulic infrastructure. NBS require little energy to operate and maintain, generate a low environmental impact and add value through their benefits to humanity (O'HOGAIN; MCCARTON, 2018; WICKENBERG; MCCORMICK; OLSSON, 2021; ABREU ET AL., 2023). In this context, NBS and smart cities have a relationship in terms of overcoming challenges and developing public policies to legitimize ideas and practices in problem-solving through the use of technology, communication and information (KOMNINOS, 2008; RIFFAT ET AL., 2016; MEIJER; BOLÍVAR, 2016).

Weiss, Bernardes and Consoni (2015) present the concept of the smart city as a new dimension of public management for tackling challenges and as a governance model. The smart city uses the capabilities of the digital city to implement information systems that improve the availability and quality of public infrastructures and services, increasing its capacity for growth and stimulating innovation and sustainable development.

Water sustainability is at risk due to the combined effects of human activities and changes in natural phenomena such as the concentration of greenhouse gases in the atmosphere, melting polar glaciers due to the increase in the Earth's average surface temperature, the withdrawal of excessive groundwater, increasing population growth and the lack of water and sanitation infrastructure associated with urbanization (MCNABB, 2019). As a result, there is a need for studies that visualize the problems and seek improvement processes and solutions for water supply (both surface and groundwater), solid waste collection and disposal, sewage collection and treatment and urban drainage (CABRAL ET AL., 2008). Thus,

this research poses the following guiding questions: How can the valuation of public policies for the discussion of biodiversity and conservation, climate change adaptation and the use of sustainable natural resources be integrated into the development of planning, control and regulation for the supply and management of processes using NBS? What actions and movements can be developed by the government to promote and value NBS?

This research aims to analyze nature-based solutions (NBS) in the management of resource (re)naturalization processes in a smart city. To this end, it describes the planning, execution, management, maintenance and monitoring of a management system that develops actions using NBS in a smart city.

The study is justified and important due to the impact of NBS on water resource management, which can positively affect communities, cities, the agricultural sector, and the industrial sector in terms of the availability of water for use and consumption. Around 5% of global investments in the water sector go to BNH, while more than 95% go to more traditional water management. It is also noteworthy that there is a great proliferation of water-borne diseases that are caused by the waste produced by society (UNESCO; UN-WATER, 2020). NBS can be more cost-effective in increasing water availability and reducing water-related risks such as droughts and floods.

This research presents its potential in the contribution of the 2030 Agenda to the Sustainable Development Goals (SDGs) with the identification of SDG 3 - Health and Well-being, SDG 6 - Drinking Water and Sanitation, SDG 11 - Sustainable Cities and Communities and SDG 13, about action against global climate change. The scientific debate in this area is present to strengthen the exchange of knowledge and ideas for the challenges that society, smart cities and countries face in this sector (XIAO ET AL., 2023; SCOLOBIG, 2023). The study highlights the importance of this topic in various areas and for the development of public management policies that can bring improvements and integrate cities with the implementation of practical projects for emerging realities.

2. LITERATURE REVISION

2.1. Smart cities

Fernandes and Gama (2006) report that the concept of a smart city is used to characterize areas (communities, neighbourhoods, districts, cities, regions) that can house education and technological development.

Cities that are large and dense can be highly productive, innovative, and have green areas that are therefore desirable for the future. A city can be instrumented, interconnected and intelligent. Instrumentalization provides for the acquisition of real-world data through sensors and any other capture systems, connected to large local network bases or the internet, requiring an efficient identification system. Interconnection allows this data to be framed by corporate platforms for the city's various services. Finally, intelligence corresponds to the insertion of complex analyses, modelling and optimizing operational business processes improving decision-making by public managers (KOMNINOS, 2008; MEIJER; BOLÍVAR, 2016).

The rapid influx of new citizens presents overwhelming challenges for governments because along with the positive benefits that accrue in dense and diverse cities, come in equal measure the negative aspects, such as informal development, traffic congestion, waste management and access to resources and crime. The demand for services is immediate, but the collection of taxes to finance them comes later. At the same time, globalization has connected cities on opposite sides of the planet in previously unknown forms of competition - for capital and resources. These challenges have led to experiments with new approaches to planning financial projects, construction, governance and operations of urban infrastructure and services for smart cities with a focus on information technologies (DONNELLY; HARRISON, 2011). The term "smart" is synonymous with a city in which everything is sensitive to the environment and produces, consumes, and distributes a large amount of information in real time. This intelligent processing serves as a reference and guides the decision-making of companies, governments, and citizens, intending to make urban activities more efficient and sustainable in the economic, social, ecological and political spheres (LEMONS, 2013).

Barbosa et al. (2013) point out that smart cities are like communities that use the latest in technological and architectural resources as a response to the challenges posed by population growth. It is based on the idea of creating sustainable, efficient environments with a high degree of connectivity and, consequently, excellent levels of quality of life.

A series of contextual changes in public administration, such as the separation of services from production processes ('servitization'), the growth of the information-rich economy and society ('informatization'), the search for creativity in the production and consumption of services and the continuous growth of digital technologies ('digitalization') have changed the preconditions of public

service production and consumption. These changes affect municipal governments, which have a responsibility to provide a variety of infrastructure and welfare services to citizens. There are a variety of conceptions of cities with challenging tasks in environments concerned with reducing costs, regardless of whether the concept is smart city, sustainable city, knowledge city, creative city, innovative city, ubiquitous city, digital city or simply city (ANTTIROIKO, VALKAMA; BAILEY, 2014).

The concept of a smart city is not fully consolidated, with different authors defining it in different ways, according to a survey carried out in the study by Weis, Bernardes and Consoni (2015). Among the definitions is the common intensive use of information and communication technologies (ICT), the active participation of the various sectors of society (government, companies, citizens, and their associations), in an environment of creativity and innovation in resource management and improving the quality of life. Thus, smart cities are an advanced stage of digital cities, which are characterized by the provision of the necessary infrastructure for ubiquitous communication, through their telematic networks and access by home and mobile devices.

Glasmeier et al. (2015) comment that smart cities are not just where new technologies can be born. They are the receptacles of technology and the targets of its applications. Although saturated as consumer markets, cities present opportunities for companies seeking markets for modern sensing, forecasting and management technologies. At the same time, ambitious politicians and civil servants are always on the lookout for the next 'big idea' to take their city to the top of the ranking of attractive places. The race to join the movement and become a smart city has encouraged city legislators to endogenize the process of technology-led growth by directing municipal budgets towards investments that confer smart city status.

Mohanty et al. (2016) emphasize that the concept of a smart city still lacks a clear and consistent definition among professionals and academia. A smart city is a place where traditional networks and services are made more flexible, efficient, and sustainable through the use of information, digital and telecommunications technologies to improve their operations for the benefit of their inhabitants. Smart cities are greener, safer, faster and friendlier. The different components of a smart city include smart infrastructure, transportation, energy, health, and technology. ICT is the key to transforming traditional cities into smart cities. However, there is a lot of need in terms of physical infrastructure, renewable energy, and ICT to make most cities smart.

It's important to note that the concept of a smart city will perhaps never find a definition capable of satisfying all the players involved in change. Theorizing a concept, however, can be formulated based on an analysis of what has been done and what is being done, of the generally partial experiences of economic, social, political and environmental development which, even in their diversity, have a common denominator: the aim of improving the quality of citizens' habitats and the search for a new relationship between citizens and the environment (GIACHINO ET AL., 2022).

Pinto (2017) emphasizes that the European Union defines smart cities as systems of people interacting and using energy, materials, services, and financing to accelerate economic development and improve quality of life by linking the use of technology and citizen participation in the strategic use of infrastructure and information and communication services with urban planning and management to respond quickly to society's social and economic needs.

Cury and Marques (2017) mention that smart cities are ways of appropriating urban space based on the use of three intelligences (human, collective and artificial). It is a search for solutions to the social, economic, and cultural problems that affect cities. The urban development process propagated by smart cities can redefine the use and occupation of local, regional, and national spaces, giving rise to territorial transformations and, thus, "reterritorialization".

With the exponential population growth in urban areas over the last three decades, major problems have arisen in urban centres. Through the development of new technologies, it is possible to create innovative solutions to the problems faced by society. From this idea, the concept of smart cities was created. For this concept to thrive, stimulating innovation is fundamental. Countries dedicated to smart city projects invest in the creation of ecosystems that integrate the actors of the triple helix (universities-governments-businesses) and devise key strategies in creating conditions in which they can act as government incentives for companies to embrace the vast amount of knowledge and ideas produced in universities, working on new solutions to problems in the areas of the environment, health, mobility, energy efficiency, infrastructure, social innovation, governance and innovation ecosystems (OLIVEIRA; CARVALHO, 2017).

Öberg et al. (2017) point out that the idea of a smart city is related to societal phenomena such as technological developments that enable local manufacturing through 3D printing or similar; increased pressure for sustainable solutions and the reduction of greenhouse gas emissions; and the urbanization of people.

Thus, the concept of a smart city is an urban model that proposes combining the use of technologies and human capital to improve infrastructure sustainably, developing innovations in mobility, the environment, quality of life and infrastructure. Thus, Ismagilova et al. (2019) point out that smart cities employ ICT to improve the quality of life of citizens, the local economy, transportation, traffic management, the environment and interaction with the government.

In the Brazilian context, the term smart city is shaping up, without losing the connotation it has had since its inception. In addition, the national concept is being brought closer to the global smart city concept, in which sustainability and valuing the individual are essential for the development and maintenance of smart cities. Silva (2019) states that the elements of smart and creative cities complement each other and are associated, and can expand the practices of creativity and innovation, whether in the social sphere, public policies, entrepreneurship, among other areas that are part of the context of cities, due to the exchanges and connections arising from networks.

Smart and sustainable cities are territories that use information technologies and urban development practices. Innovative cities seek to achieve ecological, socioeconomic, logistical, and competitive management solutions and improvements (GUEDES ET AL., 2020) to improve people's quality of life.

2.2. Nature-based solutions - NBS

Sustainability refers to development in the prudent use of natural resources at levels unlikely to damage the environment, guaranteeing their availability for current and future generations. It is linked to the concept of economic growth to achieve a sustainable quality of life (MCNABB, 2019; FRANTZESKAKI, 2019).

Cravidão et al. (2018) point out that the city as a socio-ecological system makes nature the centre of the urban metabolism process and justifies the need to manage urban spaces from a vision of the coexistence of different social and ecological systems. Christofidis et al. (2019) proposed that NBS represent a leap into a new dimension in which greater awareness is acquired in knowing and caring for water. Water management in harmony with nature raises the level of human existence through the contemplation of water, known as hydro survival or hydro maturity.

Metzger et al. (2019) point out that NBS should be considered as assets for the development of countries and legal reserves are key components, they are more effective and less expensive. They are used as strategic solutions

to address climate change risks and reduce vulnerability and natural disasters and their consequent impacts. Legal reserves are indispensable for NBS and thus crucial, guaranteeing water, energy, food and climate security. It is recognized that NBS is sustained by ecosystem services, which have lower costs and generate greater benefits in environmental, social, and economic terms.

Rezende et al. (2020) state that the application of NBS is still negligible in Brazil, but their capacity can add satisfactory and concordant results. They are considered only superficial solutions with additional benefits, rather than central solutions to water problems that infrastructure is unable to solve. NBS deliver positive results in terms of improvements, safety, and equity for all, even if they don't solve all the problems. For their development, intersectoral cooperation is essential, from non-governmental organizations (NGOs) to political sectors and organizations formed by the local population. According to UNESCO and UN-Water (2020), NBS are directly related to water quality management, which is specified in three vectors: optimization of the use of existing natural resources; sustainable management of ecosystems; and the creation of new ecosystems. It is important to note that the efficiency of this set of vectors will depend on several conditions such as biome, Phyto physiognomy, social, political, economic, ecological and hydrological indicators.

According to the study carried out by Herzog and Rozado (2019), NBS promise the recovery of water resources and the transformation of cities with problems in environmental processes and functions into smart and sustainable cities. The definition of NBS comes from cost-effectiveness which provides environmental benefits. Through locally adapted and resource-efficient interventions, diversity and resilience in natural processes are achieved. NBS help shape global agendas such as the Sustainable Development Goals (SDGs), the New Urban Agenda (NUA) and disaster risk reduction and contribute to various social benefits. With the generation of green jobs, which are vacancies destined for functions related to the environment and clean energy, there are improvements in the well-being of society, making cities more sustainable and resilient. All interested levels of public administration can develop and be involved with NBS. The actions of NBS, with the provision of ecosystem services and the preservation of biodiversity, can be carried out in public and private areas and can be achieved through strategic plans or voluntary services. Even so, the benefits and positive implementation that NBS bring to the construction of smart cities are little recognized economically,

and it is difficult to compare the cost/benefit of NBS with alternative solutions (WILD ET AL., 2017).

Some studies have emphasized the use of NBS. Possantti and Marques (2019) point out that the watersheds used to supply cities are being considered as water production systems, making the use of NBS considerably more frequent, since the quality and availability of the water resource can be improved with the system. The study proposes that NBS form a progressive planning line during the expansion of cities' water infrastructure. These solutions involve structural and improvement measures in built environments such as cities or plantations and non-structural measures such as the conservation of natural ecosystems, always proposing development and solutions in natural processes in built environments, which can address water management, biodiversity conservation and food production. When it comes to water availability for food production, NBS is in favour of maximizing the use of green water, which is directly absorbed by plants. Solutions such as no-till farming, which improves the infiltration capacity of the soil, the cultivation of certain plants adapted to the rainfall of the local environment and structural techniques such as the construction of terraces, infiltration ditches and the collection of water in small dams are cited. According to the authors, NBS ensure the regularization of river or groundwater flows, maximizing aquifer recharge and catchment points in river basins. Point pollutant loads generated by food production or industries can also be mitigated by NBS, with ecological engineering techniques such as wetland construction and stabilization ponds standing out in this regard.

Villarreal-Rosas et al. (2023) verified the benefits of implementing NBS in landscapes. They identified that the processes and dynamics that occur in ecosystems fundamentally support the benefits that people obtain from nature (e.g. reductions in soil loss, increases in carbon stocks, and improvements in water quality).

3. METHODOLOGICAL PROCEDURES

This article presents a qualitative approach based on the critical-interpretive paradigm. This work uses a case study with a descriptive research purpose (GODOY, 1995). The case study examines a phenomenon in its natural environment. Yin (2003) states that a case study is an empirical investigation of a contemporary phenomenon within a real-life context. Goldenberg (2004) points out that the case study makes it possible to penetrate social reality. The case is linked to the actions and movements implemented by

the Sustainable Itajaí Institute - INIS in the municipality of Itajaí, located in the state of Santa Catarina (SC), Brazil.

The city of Itajaí was ranked 29th in the total ranking of Brazil's smartest and most connected cities by Smart Cities Brazil 2021 (SMART CITIES, 2021). In this research, the case is chosen non-randomly, but with a strong link to theory, to be more useful as an explanation (EISENHARDT, 1989). As for the definition of instruments and protocols, various methods of data collection are combined, such as an interview, observations, newspapers, and articles published in the media, official INIS documents, to triangulate evidence to promote perspectives that strengthen the research (EISENHARDT, 1989; YIN, 2003). For this research, an interview protocol was drawn up from the perspective of nature-based solutions for managing quality of life and the environment and smart cities.

The main source of data is the interview conducted in 2020 by invitation via email with the INIS server of the municipality, responsible for the city's environmental policy according to the guidelines of the Municipal Environmental and Natural Resources Plan outlined in the Municipality's Organic Law (BRASIL, 2023). Upon acceptance, the interview was scheduled and conducted via Google Meet, lasting approximately 42 minutes and subsequently transcribed to facilitate understanding of the topic. Therefore, primary data is collected through semi-structured interviews and observations, which are documented in field notes. Secondary data is gathered through the assistance of reports and research published on the INIS website. A visit to locations with alternative water sources in the municipality of Itajaí was carried out to enhance the understanding of the topic. The data is analyzed and presented through qualitative content analysis, describing relevant information for potential contributions to the literature and academia.

4. RESEARCH RESULTS

4.1. Sustainable Itajaí Institute

The Itajaí Sustainable Institute (INIS), a public foundation in the municipality of Itajaí, has the mission of contributing to the preservation of the environment and improving the quality of life, with the help of research and monitoring. INIS promotes events, offering space for environmental education to increase community support for environmental issues.

Its actions and services include inspection, receiving and investigating complaints and issuing environmental

licenses, as well as developing public policies for the management and diagnosis of water resources. It aims to implement the environmental policy of the Municipality of Itajaí, following the guidelines of the Municipal Plan for the Environment and Natural Resources, set out in Article 130 of the Municipality's Organic Law (BRASIL, 2023).

4.2. Results of the Institute's actions

An interview with an INIS employee revealed the main actions and strategies developed by the Institute that provide opportunities for the development of NBS. The engagement of municipal actors and citizens is necessary for the regeneration of business models that can improve quality of life, and support research and innovation for a fairer society. He highlights management to open dialogue to tackle society's challenges and mobilize knowledge to develop different solutions and adapt to each context.

The INIS originated from the Itajaí Environmental Foundation and has been a proactive institute in the development of its activities since 2019. It has directorates such as the Environmental Inspection Directorate, the Environmental Licensing Directorate, and the Environmental Management Directorate (DGA).

The Environmental Inspection aims to control and monitor activities that use environmental resources and is carried out by INIS environmental analysts through inspections. When an environmental infraction is found, administrative measures such as notices, embargoes and infraction notices are applied (INIS, 2021).

The Environmental Licenses issued are monitored with the help of scheduled inspections aimed at verifying compliance with legislation and whether environmental controls are adequate. Environmental licensing is the administrative procedure by which the environmental agency authorizes the location, installation, expansion and operation of undertakings and activities that use environmental resources, considered to be effectively or potentially polluting or those that, in any form, may cause environmental degradation. Environmental licensing is an important management tool of the National Environmental Policy, and the public administration seeks to exercise the necessary control over human activities that interfere with environmental conditions. Its principle is to reconcile economic development with the use of natural resources, to ensure the sustainability of ecosystems in their physical, biotic, socio-cultural and economic variability (INIS, 2021). The server states that the Environmental Licensing and Inspection Directorate

handles a significant volume of activities, especially regarding environmental licensing.

The Directorate for the Defense and Protection of Animals carries out an interesting work that relies on the Temporary Animal Shelter Unit (UAPA), popularly known as the Municipal Animal Shelter. The UAPA has its management shared between the Municipal Health Department and the Municipal Environmental Foundation, as depicted in Figure 01.



Figure 01: Temporary Shelter for Animals.
Source: Image Bank - Secom (2023).

When collecting animals, UAPA is responsible for several procedures, such as a clinical examination carried out by the agency's veterinarian to assess the general physical condition of the animals; collecting material for the necessary tests; keeping them in an isolated place, in the event of suspected infectious diseases or zoonoses, until a diagnosis is made using tests or clinical assessment; and keeping them in conditions that provide them with food and accommodation appropriate to their species. It is a temporary shelter unit.

The Environmental Management Directorate (DGA) deals with the administration of economic and social activities in a way that makes rational use of natural resources, with a view to sustainability. It focuses on the recovery of degraded areas, reforestation techniques, methods for the sustainable exploitation of natural resources, sustainable consumption and production, participatory planning, and the study of environmental risks and impacts for the evaluation of new undertakings or the expansion of productive activities (INIS, 2021). This Directorate is located in Atalaia Park and is a proactive group with the assistance of

an environmental engineer. The Municipal Native Seedling Nursery was inaugurated in 2006 and its activities are focused on the production of tree seedlings, primarily of species native to the Atlantic Forest, as shown in Figure 02:



Figure 02: Native Seedlings.
Source: Image Bank - Secom (2023).

The seedlings produced are used for the recovery of degraded public areas, urban afforestation, and public spaces such as schools, and health centers, among others, and donated to the community. It has a greenhouse with the capacity to produce approximately 20,000 tree seedlings using a tubing system. Today, more than 100 different species are produced, some of which are on the list of endangered species and/or vulnerable to extinction, such as *Campomanesia retsina* (gabioba crespá) and *Euterpe edulis* (palmito-juçara). Herbaceous species, shrubs and trees exclusive to pioneer vegetation with a marine influence (restinga) are also produced to meet the Environmental Recovery Project for the coastal dunes of Praia Brava (INIS, 2021). When the Municipal Department of Public Works in Itajaí requires information, Environmental Management plays a subsidiary role. In addition to producing and supplying seedlings, it maintains a close relationship with Ambiental, the company responsible for municipal waste collection and cleaning. The Environmental Management Directorate (DGA) intends to establish composting facilities for the conversion of organic waste into fertilizer, which can be distributed free of charge to the nursery, as well as to parks and avenues undergoing (re)urbanization. It is noteworthy that the DGA contributes to the demands of the community as a whole and takes a proactive role in environmental matters.

Another important point is that the city has some alternative sources of water considered to be bicas: the BNH spring, Fazendinha, Parque do Atalaia, Cabeçadas,

Ressacada and Praia Brava. The city is surrounded by hills. There is the Association of Friends of the BNH Spout, which came into being at the end of 2013 when a real estate company degraded the watercourse and the BNH spout was threatened. With the protest of the community, the Association was created to preserve Itajaí's environment, the native forest and the three water springs on the hillside. They are also fighting against real estate development on the site (GOLEMBIEWSKI; VIEIRA, 2016). The law that protects the springs (BRASIL, 2000; BRASIL, 2012; BARRETO ET AL., 2010) guarantees the preservation of 50 meters of circumference at the spring and a further 30 meters on either side of the banks of the watercourse (BRASIL, 2021). Figure 03 shows the water source in Bairro Ressacada:



Figure 03: Water Source.
Source: Research Data (2023).

The Association holds meetings to discuss actions to preserve the source with municipal environmental bodies, such as the Itajaí Environment Foundation - FAMA. It also acts by demanding and exercising socio-environmental control over the actions of public authorities. Of all the bicas in Itajaí, the one at BNH is the only one with a formal association; the others are generally looked after by the community, who clean the land and maintain the hoses.

It can be observed that one of the issues with licensing is the availability of a water source. They have an engineer and two biologists who have started registering the springs, but it is not yet completed. The municipality has hired aero photogrammetry services, a technology that allows for high-quality identification and mapping. With this information, useful tools can be created, such as a fiscal migration process, exclusively for inspection. This tool is experimental and can identify the correct locations for waste disposal using a mobile phone, along with distance on the map and a mapping of trees, including fruit trees. It's a long-term project.



Figure 04: Cleanup Campaign.
Source: Image Bank - Secom (2023).

INIS conducts waste collection activities in the Rio Itajaí-Açu and Rio Itajaí Mirim. During Environment Week, 670 kilograms of waste were collected in Saco da Fazenda. Between 15 and 20 people participated in this location to collect trash. The server points out that in the city centre, some people congratulated them, while others passed by with absolute indifference. They are often asked when the riverbanks will be cleaned. The government does take action, but it still depends on the citizens' education. In Figure 04, you can see the Cleanup Campaign during Environment Week:

In the municipality of Itajaí, dredging is carried out in the Rio Itajaí-Açu, removing various types of waste. The Port of Itajaí handles the arrival and departure of ships. The server explains that port activities come with a series of limitations due to specific legislation. For instance, when the tide is low, it exposes mud and dirt. Consequently, the waste that reaches the shore is constantly removed by Ambiental and the Municipal Department of Public Works. Due to rainfall and tidal movements that deposit and then carry the water back, the dirt that remains in the area necessitates regular cleaning. INIS is looking into a request from the PMI regarding the possibility of having a company clean the water, especially in Saco da Fazenda. They are seeking alternatives among companies that have a barge with a mechanical arm for waste collection. Being the last municipality along the river, the trash accumulates in Itajaí. INIS, in partnership with the Municipal Water, Sanitation, and Infrastructure Service (SEMASA), is working together to clean the river water.

Through the DGE Directorate, INIS has a project in place to work with public and municipal schools. It's called the Eco Barrier Project, and its main aim is to educate school children about the amount of waste that accumulates in a barrier, taking on a pedagogical character.

Employing Normative Instruction 119 of 2021, INIS defined the Flood Mitigation Project. The document was drawn up in partnership with the Civil Construction Industry Union of the Municipalities at the mouth of the Itajaí River - Sinduscon, the Department of Urban

Development and Housing, Civil Defense, and the Attorney General's Office. The aim is to mitigate the impacts of rain and flooding in these areas (INIS, 2021).

It was interesting to bring together Sinduscon and experts for partnerships. Construction companies are increasingly concerned about environmental issues, and it's evident that civil construction firms are adapting to meet consumer and market demands. Companies are investing in technology and products, such as using recycled materials and waste for making floors. Some condominiums in Praia Brava even have veterinarians to care for and observe toucans and the birds they are raising.

One example is the acquisition of the Oceana shipyard by ThyssenKrupp Marine Systems do Brazil, which will be renamed ThyssenKrupp Estaleiro Brazil Sul, with a focus on naval defence in Brazil and South America. Estaleiro Brazil Sul, located in the municipality, will build four Tamandaré-class frigates for the Brazilian Navy and has proven naval technology for building MEKO-class defence ships, which already operate in 15 countries (PORTOS E NAVIOS, 2021).

The server emphasizes that they were already excellent inspectors and have taken a step towards becoming managers. They are learning and making this upgrade within the institute, with the belief that once a task is assigned, it will be completed.

5. FINAL CONSIDERATIONS

This research aimed to analyze nature-based solutions (NBS) in the management of resource (re)naturalization processes in a smart city. To this end, it described the planning, execution, management, maintenance and monitoring of a management system that develops actions using NBS in a smart city.

The state-of-the-art academic literature on the concepts of NBS and smart cities was investigated as a starting point for verifying and understanding the scientific debate in academia and society.

Studies carried out in Brazil and around the world on NBS and smart cities were identified to illustrate and examine the development of new models, examples, practices and applications by governments, companies and communities with a sustainable focus. The implementation of policy instruments aimed at NBS and the sharing of best practices have involved movements and actions that allow for re(application) or replication or re(adaptation) in the most diverse national and international contexts (WICKENBERG; MCCORMICK; OLSSON, 2021; PADMA; RAMAKRISHNA; RASOOLIMANESH, 2022).

This study described the main actions and strategies developed by the Sustainable Itajaí Institute (INIS) located in a smart city in southern Brazil with the development of nature-based solutions (NBS). It presented the main movements that the server together with its team is developing in favor of improvements. Actions implemented in the city were verified, such as sustainable urban drainage systems, the recovery of Saco da Fazenda through urban cleaning and river (re)naturalization, the intensification of recyclable waste collection and movements implemented in the city and educational activities in schools during Environment Week and conservation units, in particular water sources.

The research thus posed the following guiding questions: How can the valuation of public policies for the discussion of biodiversity and conservation, climate change adaptation and the use of sustainable natural resources be integrated to develop planning, control and regulation for supply and management using nature-based solutions? What actions and movements can the government take to promote and value nature-based solutions (NBS)? It can be seen that the increase in public policies aimed at the environment and ecosystems brings results so that management can, in addition to monitoring, be more participatory and socialize environmental and animal management by mediating movements and actions with civil society and the private sector. For this reason, INIS has the following actions: protect the environment and combat pollution in any of its forms; register, monitor and supervise concessions for research rights and the exploitation of water and mineral resources in its territory; define the use and occupation of soil, subsoil and water, through planning that encompasses diagnosis, technical analysis and the definition of guidelines for the management of spaces while respecting the conservation of environmental quality; and to encourage and promote reforestation, especially in degraded areas, to protect slopes and water resources, as well as achieving minimum levels of vegetation cover (BRASIL, 2012). INIS works on projects aimed at developing nature-based solutions that can be adapted and replicated in various regions, cities, and countries.

This research was relevant because these movements made it possible to verify the developments in the work carried out by INIS in a smart city located in an emerging country. It is known that the problems caused by climate change, which reduces biodiversity and the scarcity of drinking water, need to be mitigated (PURVIS; MAO; ROBINSON, 2019; BULKELEY, 2020; KOOIJMAN ET AL., 2021). NBS can bring improvements to processes and solutions for the well-being of populations and the quality

of urban areas to develop smart cities (OSAKA; BELLAMY; CASTREE, 2021).

The research has contributed to the literature on smart cities and nature-based solutions in an empirical context of a city through the Sustainable Itajaí Institute (INIS), which values its actions in pursuit of sustainability, quality of life and the well-being of the population.

It is suggested that smart cities and nature-based solutions (NBS) be studied in other cities, sectors, and companies to have more empirical evidence of this relationship, which could be expanded in terms of the development of innovative solutions and new experiences (MERCADO ET AL., 2023).

As for limitations, this research was carried out using a qualitative approach. Quantitative research can also contribute to a new perspective and approach to the subject by looking at a new context. The study investigated a Brazilian smart city, so other cities can exemplify new perspectives.

Finally, it is suggested that international empirical research be carried out to observe the behaviour of cities and natural resilience, and to highlight research into cross-cutting issues such as the supply of organic food, improving people's health and fostering a green economy.

REFERENCES

- ABREU, I. A.; VALADÃO, J. A. D.; SILVA, C. A. Nature-based solutions: literature review of the emerging field of sustainability in Brazilian academia. **Mitig Adapt Strateg Glob Change**, Vol 28, No. 32, p. 1-29, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11027-023-10069-2>
- ANTTIROIKO, A-V.; VALKAMA, P.; BAILEY, S. J. Smart cities in the new service economy: building platforms for smart services. **AI & Society**, Vol. 29, p. 323-334, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00146-013-0464-0>
- BARBOSA, G.B.; URQUIZA, M. F.; C NDIDO, M.B.; PUGLIESI, J.B. Tecnologia integrada às áreas para o desenvolvimento de cidades inteligentes. **Revista eletrônica de sistemas de informação e gestão tecnológica**, Vol 3 No. 1, p. 25-39, 2013. <https://periodicos.unifacel.com.br/index.php/resiget/article/view/584>
- BARRETO, S. R.; RIBEIRO, S. A.; BORBA, M. P. Nascentes do Brasil: estratégias para a proteção de cabeceiras em bacias hidrográficas. **WWF – BRASIL**, São Paulo, 2010. <https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/nascentes-do-brasil-estrategias-para-a-protecao-de-cabeceiras-em-bacias-hidrograficas.pdf>

BRASIL (2000). Lei n.º 9.985. de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União de 19.7.2000**. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm

BRASIL (2012). Lei n.º 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.ºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n.ºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n.º 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União de 28.5.2012**. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm

BRASIL. (2023). **Lei Orgânica do Município de Itajaí e atualizações**. Atualizada até a Emenda n. 63/2023. <https://leismunicipais.com.br/lei-organica-itajai-sc>

BRASIL (2021). Portaria GM/MS n.º 888 de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n.º 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Publicado em: 07/05/2021, Edição: 85, Seção: 1, p. 127. <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>

CABRAL, J. J.S.P.; FARIAS, V. P.; SOBRAL, M. C.; PAIVA, A. L. R.; SANTOS, R. B. Groundwater management in Recife. **Water International**, Vol. 33 No.1, p. 86–99, 2008. <https://doi.org/10.1080/02508060801927648>

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPCÃO, R. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde Debate**, Vol. 43, p. 1-15, 2019. <https://doi.org/10.1590/0103-11042019S307>

CRAVIDÃO, F.; CUNHA, L.; SANTANA, P. Espaços e tempos em geografia: homenagem a António Gama. **Cadernos de Geografia**, Imprensa da Universidade de Coimbra University Press, Vol. 37, p. 1-23, 2018. http://doi.org/10.14195/0871-1623_37_1

CURY, M.; MARQUES, J. A cidade inteligente: uma reterritorialização. *Revista do Desenvolvimento Regional - Redes*, Universidade de Santa Cruz do Sul, Vol. 22 No. 1, p. 102-117, 2017. <https://doi.org/10.17058/redes.v22i1.8476>

DAI, L. **Politics and Governance in Water Pollution Prevention in China**. Switzerland, Palgrave Macmillan, 2019.

DONNELLY, I.; HARRISON, C. **Uma teoria de smart cities**. IBM Corporation, 1 New Meadow Road, Armonk, NY 10504, EUA 2 IBM UK Limited, Northminster House, Natural England, Peterborough PE1 1UA, Reino Unido, 2011.

EBERHARDT, D. S., SCHIOCCHET, M. A. Recomendações para a produção de arroz irrigado em Santa Catarina (Sistema pré-germinado). EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Sistema de Produção no. 48**, Florianópolis, 2015. <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/SP/article/view/1587>

EISENHARDT, K. Building Theories from Case Study Research. **Academy of Management Review**, Vol. 14 No. 4, p. 532–550, 1989. <https://doi.org/10.2307/258557>

FERNANDES, R.; GAMA, R. **A cidade digital vs a cidade inteligente: estratégias de desenvolvimento sócio-económico e/ou de marketing territorial**. Actas do 2º Congresso Luso-brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Universidade do Minho, Braga, de 27 a 29 de Setembro de 2006. Universidade do Minho, Braga, setembro, 2006. <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/12403>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Water pollution from agriculture: A global review (executive summary). **Food and Agriculture Organization of the UN**, 2017. <http://www.fao.org/3/a-i7754e.pdf>

FRANTZESKAKI, N. Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. **Environmental Science and Policy**, Vol. 93, p. 101-111, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.033>

FUTSELAARA, H.; SCHONEWILLEB, H.; VENTEC, D.; BROENS, L. (2007). NORIT AirLift MBR: side-stream system for municipal waste water treatment. **Desalination**, Vol. 204, p. 1–7, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.03.001>

[org/10.1016/j.desal.2006.02.027](https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.02.027)

GIACHINO, C.; BOLLANI, E.; BONADONNA, A. Urban area and nature-based solution: Is this an attractive solution for Generation Z? **Land Use Policy**, Vol. 112, p. 1-11, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105828>

GLASMEIER, A. et al. Thinking about smart cities. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, Vol. 8 No. 1, p. 3-12, 2015. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsu034>

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, Vol. 35 No. 2, p. 57-63, 1995. <https://doi.org/10.1590/S0034-75901995000200008>

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em Ciências Sociais**. São Paulo: Editora Record, 2004.

GOLEMBIEWSKI, B.; VIEIRA, F. Direto da fonte: **A tradição das bicas em Itajaí**. Disponível: <<https://agenciaprefixo.wordpress.com/2016/09/13/direto-da-fonte-a-tradicao-das-bicas-em-itajai/>>.

GUEDES, A.; RODRIGUEZ, M.; SOARES, C. Smart Cities - Cidades Inteligentes nas Dimensões: Planejamento, Governança, Mobilidade, Educação e Saúde. 1ª edição. **Digital**, 2020. https://www.researchgate.net/publication/342926201_Smart_Cities_-_Cidades_Inteligentes_nas_Dimensoes_Planejamento_Governanca_Mobilidade_Educacao_e_Saude

HERZOG, C. P.; ROZADO, C. A. Diálogo Setorial UE-Brasil sobre soluções baseadas na natureza: Contribuição para um roteiro brasileiro de soluções baseadas na natureza para cidades resilientes. **Comissão Europeia**, [S. l.], p. 1-136, 2019. <https://doi.org/10.2777/172968>

INIS – INSTITUTO ITAJAÍ SUSTENTÁVEL. **Estrutura Organizacional** - 2021. <https://inis.itajai.sc.gov.br/l/estrutura-organizacional>

INIS – INSTITUTO ITAJAÍ SUSTENTÁVEL. (2023). **Viveiro Municipal de Mudanças Nativas**. <https://inis.itajai.sc.gov.br/l/viveiro-municipal-de-mudancas-nativas#.ZBmnlbMJPY>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) - **População residente, por situação, sexo e grupos de idade**, 2015. <https://sistema.ibge.gov.br/Tabela/261#resultado>

ISMAGILOVA, E. ET AL. Smart Cities: Advances in research – An information systems perspective. **International Journal of Information Management**, Vol. 47, p. 88-100, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.004>

KOMNINOS, N. **Intelligent cities: Innovation, knowledge systems and digital spaces**, 1st ed., London: Routledge, 2008.

KOOIJMAN, E.D.; MCQUAID, S.; RHODES, M.-L.; COLLIER, M.J.; PILLA, F. Innovating with Nature: From Nature-Based Solutions to Nature-Based Enterprises. **Sustainability**, Vol 13 No. 1263, p. 1-17, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13031263>

LEMOS, A. De que forma as novas tecnologias — como a computação em nuvem, o Big Data e a Internet das Coisas — podem ajudar a melhorar a condição de vida nos espaços urbanos? *Cidade Inteligente*, **GV Executivo**, Vol.12 No. 2, p. 46-49, 2013. <https://doi.org/10.12660/gvexec.v12n2.2013.20720>

LOBINA, E. Problems with Private Water Concessions: A Review of Experiences and Analysis of Dynamics. **International Journal of Water Resources Development**, Vol. 21 No. 1, p. 55-87, 2005. <https://doi.org/10.1080/0790062042000313304>

MCNABB, D. E. **Global pathways to water sustainability**. Switzerland, Palgrave Macmillan, 2019.

MEIJER, A.; BOLÍVAR, M. P. R. Governing the smart city: a review of the literature on smart urban governance. **International Review of Administrative Sciences**, Vol. 82 No. 2, p. 392-408, 2016. <https://doi.org/10.1177/002085231456430>

MERCADO ET AL. Supporting Nature-Based Solutions via Nature-Based Thinking across European and Latin American cities. **Ambio**, p. 1-16, 2023. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01920-6>

METZGER, J. P.; BUSTAMANTE, M. M.C ; FERREIRA, J.; FERNANDES, G. W.; LIBRÁN-EMBED, F.; PILLAR, V. D ; PRIST, P. R ; RODRIGUES, R. R. ; VIEIRA, I. C. G ; OVERBECK, G. 407 Cientistas Signatários (Incluindo 391 Pesquisadores Doutores de 79 Instituições Brasileiras de Ensino Superior E Pesquisa) (Corporate Author). Why Brazil needs its Legal Reserves. **Perspectives in Ecology and Conservation**, Vol.17 (3), p.104-116, 2019. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S253006441930118X?token=805E-D8325C91E3010437E5B356547021098BE4CA74C-6F5564E9ADB14E2DFC3F74128AE2DA569D18E3B-8D3A24C000636B>

MOHANTY, S. P.; CHOPPALI, U.; KOUIGANOS, E. Everything you wanted to know about smart cities: The internet of things is the backbone. **IEEE Consumer Electronics**, Vol. 5 No. 3, p. 60-70, 2016. http://www.smohanty.org/Publications_Journals/2016/Mohanty_IEEE-CEM_2016-July_Smart-Cities.pdf

O'HOGAIN, S.; MCCARTON, L. A Technology Portfolio of Nature Based Solutions Innovations in Water Management. **Switzerland**, Springer International Publishing, 2018.

ÖBERG, C.; GRAHAM, G.; HENNELLY, P. Smart cities: A literature review and business network approach discussion on the management of organisations. **Imp Journal**, Vol 11 No. 3, p. 468-484, 2017. <https://doi.org/10.1108/IMP-06-2015-0024>

OLIVEIRA, H. H. N.; CARVALHO, Z. V. Estratégias de Desenvolvimento Socioeconômico: Ecossistemas de Inovação para Implantação de Smart Cities - Estudo de Casos nos Estados Unidos, China e Suécia. **Revista - Gestão, Inovação e Tecnologias - GEINTEC**, Vol. 7 No. 4, p. 4074-4088, 2017. <https://doi.org/10.7198/geintec.v7i4.1249>

OSAKA, S.; BELLAMY, R.; CASTREE, N. Framing "nature-based" solutions to climate change. **WIREs Clim Change**, 12:e729, p. 1-20, 2021. <https://doi.org/10.1002/wcc.729>

PADMA, P.; RAMAKRISHNA, S.; RASOOLIMANESH, S. M. Nature-Based Solutions In Tourism: A Review Of The Literature And Conceptualization. **Journal of Hospitality & Tourism Research**,

Vol. 46 No. 3, p. 442-466, 2022. <https://doi.org/10.1177/1096348019890052>

PINTO, M. **Internet das coisas, cidades inteligentes e mobilidade urbana: um estudo de caso sobre os smart parkings em vias públicas e os impactos na qualidade de vida da população**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Sistemas de Computação) - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2017.

POSSANTTI, I.B.; MARQUES, G. F. Soluções Baseadas na Natureza para sistemas hídricos de cidades: conceituação e modelagem a nível de planejamento. **Anais XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**: Foz do Iguaçu, 2019. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.33076.60803>

PORTOS E NAVIOS. **Estaleiro Oceana agora é Estaleiro Brasil Sul**. <https://www.portosenavios.com.br/noticias/ind-naval-e-offshore/estaleiro-oceana-agora-e-estaleiro-brasil-sul>

PURVIS, B.; MAO, Y.; ROBINSON, D. Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. **Sustainability Science**, Vol. 14, p. 681-695, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>

REZENDE, V. S.; ANDRADE, L. M. S.; RODRIGUES, S. E.; PEREIRA, Í. P. P.; LEMOS, N. S. Ecossistema urbano da ocupação Santa Luzia: análise dos impactos por técnicas de geoprocessamento e proposição de Soluções baseadas na Natureza. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Paranoá, p. 1-22, 2020. <http://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n26.2020.15>

RIFFAT, S.; POWELL, R.; AYDIN, D. Future cities and environmental sustainability. **Future Cities and Environmental**, Vol. 2 No. 1, p. 1-23, 2016. <https://doi.org/10.1186/s40984-016-0014-2>

RODRIGUES, M. O Antropoceno em disputa. **Ciência e Cultura**. Vol. 69 No. 1, p. 19-22, 2017. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602017000100010>

SCHEFFRAN, J. Limits to the Anthropocene: geopolitical conflict or cooperative governance? **Frontiers in Political Science**, Vol. 5, p. 1-18, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpos.2023.11906102023>

SCOLOBIG, A.; LINNERTH-BAYER, J., PELLING, M. ET AL. Transformative adaptation through nature-based solutions: a comparative case study analysis in China, Italy, and Germany. **Regional Environmental Change**, Vol. 23 No. 69, p. 1-19, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02066-7>

SECOM – SETOR DE COMUNICAÇÃO. Saúde e Famai trabalham em parceria na Unidade de Acolhimento Provisório de Animais. 2023. **Banco de Imagens**. <https://www.flickr.com/photos/secomitajai/albums>

SECOM – SETOR DE COMUNICAÇÃO. **INIS participa da última ação de limpeza do Rio Itajaí-Açú em 2022**. https://edu.itajai.sc.gov.br/banco-imagens?id_noticia=29576#.ZBmzr3bMJPY

SILVA, K. **Cidade inteligente e criativa (cic): uma proposição para configurações urbanas contemporâneas**. Anais EnEO 2019, Fortaleza, maio, 2019. https://www.researchgate.net/publication/333402678_Cidade_Inteligente_e_Criativa_CIC_Uma_Proposicao_para_Configuracoes_Urbanas_Contemporaneas

SMART CITIES. **Ranking Connected Smart Cities**, 2021. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMWJjYTgzZGUtNGZkOC00YmM1LTljMDgtODU1ZmQ4NDlmNTRilwiidCI6IjA0ZTcxZThlTUwZDMtNDU1ZC04ODAzLWM3ZGI4ODhkNjRiYiJ9&embedImagePlaceholder=true&pageName=ReportSection>

TREVISAN, L. Y. I.; ORSSATTO, F. Tratamento de águas residuárias e mecanismos de gestão hídrica de uma universidade em Foz do Iguaçu/PR. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS**, Vol. 6 No. 3, p. 118-130, 2017. <https://doi.org/10.5585/geas.v6i3.412>

TUGOZ, J. E.; BERTOLINI, G. R. F.; BRANDALISE, L. T. Captação e aproveitamento da água das chuvas: o caminho para uma escola sustentável. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS**, Vol. 6 No. 1, p. 26-39, 2017. <https://doi.org/10.5585/geas.v6i1.396>

UNESCO, ONU-Água, 2020. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: **Água y Cambio Climático**. París, UNESCO. <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2020>

VARGAS, M. C.; LIMA, R. F. Concessões privadas de saneamento no Brasil: concessões privadas de saneamento no Brasil: bom negócio para quem? **Ambiente & Sociedade**, Vol. 7 No. 2, p. 67-93, 2004. <https://www.scielo.br/j/asoc/a/BXswdrST5DCbZFB6BvyQd9x/?format=pdf>

VILLARREAL-ROSAS, J.; RHODES, J. R.; SONTER, L. J., POSSINGHAM, H. P., & VOGL, A. L. (2023). Optimal allocation of nature-based solutions to achieve climate mitigation and adaptation goals. **People and Nature**, Vol. 5, p. 1034-1045. <https://doi.org/10.1002/pan3.10481>

XIAO, Z.; GE, H.; LACASSE, M.A.; WANG, L.; ZMEUREANU, R. Nature-Based Solutions for Carbon Neutral Climate Resilient Buildings and Communities: A Review of Technical Evidence, Design Guidelines, and Policies. **Buildings**, Vol. 13, 1389, p. 1-17, 2023. <https://doi.org/10.3390/buildings13061389>

XIE, L.; BULKELEY, H. Nature-based solutions for urban biodiversity governance. **Environmental Science and Policy**, Vol.110, p. 77–87, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.04.002>

WEISS, M. C.; BERNARDES, R. C.; CONSONI, F. Cidades inteligentes como nova prática para o gerenciamento dos serviços e infraestruturas urbanas: a experiência da cidade de Porto Alegre. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Vol. 7 No. 3, p. 310-324, 2015. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.007.003.AO01>

WICKENBERG, B.; MCCORMICK, K.; OLSSON, J. A. Advancing the implementation of nature-based solutions in cities: A review of frameworks. **Environmental Science and Policy**, 125, p. 44-53, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.08.016>

WILD, T.C.; HENNEBERRY, J.; GILL, L. Comprehending the multiple ‘values’ of green infrastructure – Valuing nature-based solutions for urban water management from multiple perspectives. **Environmental Research**, Vol. 158, p. 179-187, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.043>

YIN, R. K. Applications of case study research. 2nd ed. **Applied Social Research Methods Series**. Vol. 34. Sage Publications, London, 2003.

AUTHORS

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1475-7659>

GRAZIELA BREITENBAUCH DE MOURA - Doutora em Administração e Turismo - UNIVALI - Itajaí (SC) - Brasil - Docente no Programa de Mestrado Profissional em Gestão de Políticas Públicas - UNIVALI - Univali - Correspondência: Rua Uruguai, 458 Setor D1 - Sala 401 - Itajaí - SC, Brasil Cep: 88.302.901 - email.: grazi1@univali.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0106-5052>

TATIANE SILVA HRYSYKI - Mestranda no Programa de Mestrado Profissional em Gestão de Políticas Públicas - UNIVALI - Itajaí (SC) - Brasil - Correspondência: Rua Uruguai, 458 Setor D1 - Sala 401 - Itajaí - SC, Brasil Cep: 88.302.901 - email.: tatiane.tds@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3521-1671>

JOAQUIM OLINTO BRANCO - Doutor em Zoologia pela Universidade Federal do Paraná; Doutor em Ecologia e Recursos Naturais - Universidade Federal de São Carlos e Pós-Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais - Universidade Federal de São Carlos | Correspondência: Rua Uruguai, 458 Setor D1 - Sala 401 - Itajaí - SC, Brasil Cep: 88.302.901 - Docente no Programa de Mestrado Profissional em Gestão de Políticas Públicas - UNIVALI/SC. - email.: branco@univali.br

original, escrita - revisão & edição.

TSH: análise formal, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

JOB: conceituação, administração de projetos, validação, visualização, escrita - revisão & edição.

Conflict of interest: nothing has been declared.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

MOURA, Graziela Breitenbauch de; HRYSYKI, Tatiane Silva; BRANCO, Joaquim Olinto. *MIX Sustentável*, v. 9, n. 10, p. 109-124, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mix-sustentavel>>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.109-124>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.109-124).

SUBMETIDO EM: 24/08/2023

ACEITO EM: 20/12/2023

PUBLICADO EM: 26/03/2024

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRedit Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

GBM: conceituação, curadoria de dados, análise formal, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, administração de projetos, programas, supervisão, validação, visualização, escrita - rascunho

INFLUENCE OF HIGH TEMPERATURES ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF IRON ORE TAILINGS/CEMENT COMPOSITE

INFLUÊNCIA DAS ALTAS TEMPERATURAS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO COMPÓSITO REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO/CIMENTO

INFLUENCIA DE LAS ALTAS TEMPERATURAS EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL COMPUESTO DE RESIDUOS DE MINERAL DE HIERRO/CEMENTO

EDGAR VLADIMIRO MANTILLA CARRASCO, Dr. | UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

JUDY NORKA RODO MANTILLA, Dra. | FUMEC – Universidade FUMEC, Brasil

ELIENE PIRES CARVALHO, Dra. | CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Brasil

MARCO ANTÔNIO PENIDO DE REZENDE, Dr. | UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

REJANE COSTA ALVES, Dra. | UFES - Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

MARIA TERESA GOMES BARBOSA, Dra. | Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil

WHITE JOSÉ DOS SANTOS, Dr. | UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

ABSTRACT

The various properties of mortars produced with iron ore tailings and cement (IOT/cement) at room temperature have been extensively studied, but research on high-temperature behavior is scarce. The objective of this study is to analyze the compressive strength and mass loss of these mortars when subjected to high temperatures. The test specimens (TSs) were exposed to different temperature levels (100°C to 1100°C) and subsequently subjected to axial compression tests. The results showed that with increasing temperature, there was a loss of strength. The loss of strength exhibited a linear trend and became more pronounced after 350°C. The TSs subjected to 1100°C exhibited an 80% loss of strength, while the mass loss was less than 5%. One of the contributions of this study, in line with current research, is to emphasize the importance of composites (IOT/cement) as a sustainable and economically viable alternative, given that iron ore tailings are generated in large quantities during the beneficiation process. Another contribution is to demonstrate that these composites can result in mortars with a significant reduction in compressive strength and a small mass loss when exposed to high temperatures. Furthermore, it highlights that they meet all performance and safety requirements in fire situations, making them a non-combustible product.

KEYWORDS

Iron ore tailings; cement, compressive strength; high temperatures; sustainability; thermal effects.

RESUMO

As diversas propriedades das argamassas produzidas com rejeito de minério de ferro e cimento (IOT/cimento) em temperatura ambiente, foram amplamente estudadas, já em altas temperaturas são escassas. O objetivo desse estudo é analisar a resistência à compressão e a perda de massa de estas argamassas, quando submetidas a elevadas temperaturas. Os corpos de prova (CPs) foram expostos a diferentes níveis de temperatura (100 oC até 1100 oC). Posteriormente, foram ensaios à compressão axial. Os resultados mostraram que, com o aumento da temperatura, houve perda da resistência. A perda de resistência mostrou-se linear e, mais rápida a partir dos 350 oC. Os CPs submetidos a 1100 oC



apresentaram uma perda de resistência de 80%, porém a perda de massa foi inferior a 5%. Uma das contribuições desse estudo, corroborando com as pesquisas atuais, é ressaltar a importância dos compósitos (IOT/cimento) como uma alternativa sustentável e economicamente viável, uma vez que o rejeito de minério de ferro é gerado em grande quantidade durante o processo de beneficiamento. Outra contribuição é mostrar que esses compósitos podem resultar em argamassas com considerável redução da resistência à compressão e pequena perda de massa, quando submetidas a temperaturas elevadas. Também ressaltar que eles atendem a todos os requisitos de desempenho e segurança em situações de incêndio, podendo ser considerado um produto incombustível.

PALAVRAS-CHAVE

Rejeito de minério de ferro; cimento; resistência à compressão; altas temperaturas; sustentabilidade; efeitos térmicos.

RESUMEN

El objetivo es analizar la resistencia a la compresión y la pérdida de masa de morteros producidos con desechos de mineral de hierro (IOT) y cemento cuando se someten a altas temperaturas. Las probetas se expusieron a diferentes niveles de temperatura (100°C a 1100°C) y posteriormente se sometieron a ensayos de compresión axial. Los resultados mostraron que con el aumento de la temperatura, hubo una pérdida de resistencia. La pérdida de resistencia exhibió una tendencia lineal y se hizo más pronunciada después de 350°C. Las probetas sometidas a 1100°C exhibieron una pérdida de resistencia del 80%, mientras que la pérdida de masa fue inferior al 5%. Una de las contribuciones de este estudio, en línea con la investigación actual, es enfatizar la importancia de estos compuestos como una alternativa sostenible y económicamente viable, dado que los IOT se generan en grandes cantidades durante el proceso de beneficio. Otra contribución es demostrar que estos compuestos pueden resultar en morteros con pequeña pérdida de masa e grande reducción de resistencia, cuando se exponen a altas temperaturas. Además, destaca que cumplen con todos los requisitos de rendimiento y seguridad en situaciones de incendio, lo que los convierte en un producto no combustible.

PALABRAS CLAVE

Residuos de mineral de hierro; cemento; resistencia a la compresión; altas temperaturas; sostenibilidad; defectos térmicos.

1. INTRODUCTION

The construction industry has been increasingly seeking sustainable and efficient solutions to address contemporary challenges (ZHAO et al., 2014). In this context, the use of alternative and recycled materials has proven to be a promising approach, both for reducing environmental impact and improving the performance of construction materials (ALMADA et al., 2022). One of the alternatives that has gained prominence is the composite of iron ore tailings/cement (IOT/cement). Iron ore tailings (IOT), which are generated in large quantities by the mining industry, are a waste product that presents significant challenges in terms of management and environmental impact (BALAJI, 2022). However, recent studies have explored its potential as a component in construction materials, especially in combination with Portland cement (DUARTE et al., 2022). Portland cement is the primary binder used in the production of concrete and mortar, and the incorporation of IOT can contribute to reducing the amount of cement required, while adding value to the waste (TAURINO, 2023). The use of these composites as construction material has shown promise as an alternative for the sustainable reuse of industrial waste and the reduction of environmental impact (ALMADA et al., 2023; CAMPOLINA et al., 2023).

The IOT/cement composite is characterized by its versatility and the mechanical properties and durability it offers. Studies have shown that these composite exhibits satisfactory performance in terms of compressive strength, durability, and dimensional stability. Furthermore, the use of IOT as a component of the composite can reduce the demand for natural resources (sand and crushed stone) and contribute to the circular economy by providing a more sustainable disposal solution for industrial waste. However, it is important to highlight that the IOT/cement composite is not immune to the effects of high temperatures. Exposure to high-temperature conditions, such as fires, can compromise the structural integrity of this material, affecting its compressive strength and other mechanical properties, as is the case with most construction materials. Therefore, understanding the influence of high temperatures on this composite is crucial for assessing its viability and safety in applications subject to fire risks, such as commercial, industrial, and residential buildings (FIGUEIREDO et al., 2021).

While there is extensive literature on the influence of temperature on the compressive strength of cementitious

materials, such as concrete and mortar, specific research on the IOT/cement composite is still limited. Few studies have comprehensively addressed this topic, considering different proportions of IOT, variations in curing and thermal exposure conditions, as well as the influence of other factors, such as tailings particle size and the addition of additives (BAI et al., 2022). One of the main concerns related to the influence of high temperatures on the compressive strength of the IOT/cement composite is the effect of moisture loss during heating. Water is essential for the hydration of Portland cement and the formation of chemical bonds responsible for the material's mechanical strength. Therefore, moisture loss can compromise the hydration reaction and consequently reduce compressive strength (MD AZREE, 2023).

Compressive strength is a crucial parameter for assessing the composite's ability to resist applied loads, and its degradation under high temperatures can compromise structural stability and safety (DAHISH and ALMUTAIRI, 2023; CARRASCO et al., 2017).

Zhang and Tan (2022) investigated the compressive strength of iron ore tailings/cement (IOT/cement) composite specimens subjected to temperatures up to 800°C. The results demonstrated a gradual decrease in compressive strength with increasing temperature, highlighting the adverse influence of high temperatures on the mechanical properties of the composite. Furthermore, theoretical and numerical studies have also contributed to understanding the degradation mechanisms of compressive strength at high temperatures. Mathematical models and computational simulations have been developed to analyze the thermomechanical behavior of the composite and predict its performance in fire scenarios. In a study conducted by Jhatial et al. (2023), numerical models were used to simulate the behavior of conventional mortar specimens under fire conditions. The results showed a significant reduction in compressive strength with rising temperature, corroborating the experimental findings.

When analyzing the effects of high temperatures, these studies have investigated various aspects related to the behavior of the composite (ZHANG and TAN, 2022). This includes the influence of temperature on the cement matrix and constituent materials of the composite, such as IOT, as well as the interactions between these components (GOA et al., 2023). Studies like the one conducted by Chen et al. (2022) analyzed the influence of porosity and water/cement ratio on the compressive strength of IOT/cement composite at high temperatures. The results indicated that porosity and water content directly influence the material's mechanical strengths,

especially under extreme thermal conditions. Water loss during exposure to high temperatures can lead to increased porosity and compromise compressive strength. Another relevant study is that of Li et al. (2018), which investigated the effects of temperature on the hydration process of cement in IOT composites. The results indicated that exposure to high temperatures during the curing process negatively affected the formation of chemical bonds between the composite particles, resulting in reduced compressive strength. This research underscores the importance of controlling curing conditions to prevent significant strength losses.

Another interesting approach is presented by Tang et al. (2019), who investigated the effects of additive additions on the compressive strength of IOT/cement composite after exposure to high temperatures. The results showed that the addition of additives, such as silica fume and metakaolin, can enhance the compressive strength of the composite even under high-temperature conditions. This research emphasizes the importance of exploring new formulations and additives to optimize the composite's performance under extreme conditions.

These studies contribute to advancing scientific knowledge in the field, providing experimental data and theoretical analyses that aid in understanding the involved phenomena and making informed decisions regarding the safe and efficient use of this material in high-temperature exposure environments (DAHISH and ALMUTAIRI, 2023; LI et al., 2023; RAMZI et al., 2023).

In summary, the influence of high temperatures on the compressive strength of IOT/cement composite is a highly relevant topic for civil engineering and the construction materials industry. Experimental, theoretical, and numerical studies have contributed to understanding degradation mechanisms and developing strategies to enhance the mechanical properties of this material under elevated temperatures. The pursuit of more efficient and sustainable solutions for the construction industry necessitates ongoing investigation into these aspects, aiming to ensure the safety and durability of structures in fire situations.

In this context, the objective of this work is to determine, through rigorous experimental tests with temperature control, the variation in compressive strength and mass loss of the IOT/cement composite as a function of temperature.

2. MATERIALS AND METHODS

IOT was provided by Samarco Mining Company, and

the tests were conducted at the laboratories of the School of Engineering at UFMG.

2.1. Materials

For the preparation of test specimens (TS), high early strength Portland cement (CP V-ARI) and IOTs (as fine (F) and granular (G) aggregates) were used. The chemical composition is presented in Table 01, and the granulometric characteristics, permeability, and specific mass of the IOTs are shown in Table 02.

	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	PPC	MnO
F	34,26	45,72	2,06	0,051	0,09	3,030
G	21,99	67,97	0,15	0,140	0,4	0,010

Where F = fine and G = granular.

Table 01: Chemical composition of IOT.

Source: Authors.

	Sand %	Silt %	Clay %	k (cm/s)	ps (g/cm ³)
F	14,0	79,2	7,1	2,3x10 ⁻⁵	3,47
G	44,1	53,8	2,1	1,3x10 ⁻³	3,14

Where F = fine and G = granular.

Table 02: Granulometry, permeability, and specific mass.

Source: Authors.

The mortar mix proportion for the study was 1:1:4:3.04 (cement: fine tailings: granular tailings: water), by weight. The mortar consistency was 300 ± 15 mm, measured on a flow Table. The typical consistency used in mortars is 260 ± 10 mm (SANTOS et al., 2018). However, due to the increased cohesion of the mortar under study and the fineness of the aggregates, a higher value was necessary on the flow Table to achieve proper workability. For the preparation of TS, a pressing load of 400 kN was applied, considering the use of CP V – ARI cement. The mixing sequence of the mortar components and their homogenization for TS preparation is crucial. Thus, the following sequence was adopted: first, the tailings; then, the cement; and finally, water was gradually added in a mortar mixer. Subsequently, the mixture was placed into molds and pressed using a hydraulic press. At the end of the process, the TS was extracted for curing. The curing followed the Brazilian standard NBR 13279 (ABNT, 2005). The TS fabricated with this mortar proportion were subjected to wet curing and tested after 28 days. The dimensions of the TS cylinders were 5 cm in diameter and 10 cm in length.

A total of 63 TS were prepared, with 7 TS for each temperature (100°C, 200°C, 350°C, 500°C, 600°C, 750°C, 850°C, 950°C, and 1100°C). After curing, each TS was divided using a diamond circular saw, resulting in a twin TS for each specimen. Figure 01 shows a portion of the TS after curing.



Figure 01: Test specimens ready for testing.
Source: Authors' collection.

2.2. Equipment and Instrumentation

The equipment used was the same as recommended for the non-combustibility tests using a muffle furnace. For weight (mass) determination, a “Marte Balanças” brand balance, model AL 500, with a resolution of 0.001 g, certified by RBC with calibration certificate number 119015, was used. A muffle furnace (test adapted following the criteria of ISO 1182 (2020), model NA1221, temperature limit 1100°C, controlled by 10 PT 100 thermoresistances calibrated by Analógica company, Figure 02).



Figure 02: Balance and muffle furnace.
Source: Authors' collection.

Type K thermocouples were used, which have a stainless-steel sheath at the tip. One thermocouple was placed inside the TS (in a hole made in the middle of the TS to the halfway point of its height) to measure internal temperature, and another was placed on the surface of the TS to measure its surface temperature. All thermocouples were connected to a Data Acquisition System (DAS), which consists of a signal conditioning board that amplifies and conditions the signal, an analog-to-digital signal conversion board (A/D), and a control board containing a multiplexer



Figure 03: Thermocouples in the muffle furnace and the Data Acquisition System.
Source: Authors' collection.

and 16 channels with their respective circuit conditioners. This entire system is connected to a notebook, Figure 03.

For the simple compression tests, a universal testing machine (UTM) from Emic/Instron brand, model DL 30000, with a capacity of 300 kN, as shown in Figure 04, was used. This machine has automatic load and displacement control, servo-controlled. A 50 kN load cell was attached for the tests, Figure 04.



Figure 04: Universal testing machine, capacity of 300 kN.
Source: Authors' collection.

2.3. Test Methodology

The test methodology will be divided into two stages: the non-combustibility test and the simple compression test. For both tests, the age of the TSs was 56 days. The preparation of the TSs was carried out using a grinder, ensuring the parallelism of the surfaces and a 90-degree

angle between the load application surface and the length of the concrete specimen.

For the non-combustibility test, the testing method was adapted from the recommendations of the standards: ISO 1182 (2020); NBR 5628 (ABNT, 2022); NBR 9442 (ABNT, 2019); and NBR 14432 (ABNT, 2001). The adopted test procedure followed the ISO 1182 (2020) standard, with slight adaptations regarding the furnace and TS dimensions. Initially, one of the twin TSs underwent the non-combustibility test. The main premise was to vary the temperature range. Two TSs were used for different temperature ranges (100°C, 200°C, 350°C, 500°C, 600°C, 750°C, 850°C, 950°C, and 1100°C).

The preparation of the TSs involved conditioning them in an oven at a temperature of $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ for a period of 21 hours. After removal from the oven, they were placed in a desiccator to cool, with cooling monitored using a thermometer. Once cooling was confirmed, the TSs were weighed on a balance to obtain the initial mass (mi). The following steps were carried out for each test temperature. The muffle furnace was turned on with its temperature sensor set to the test temperature, for example, $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, and allowed to stabilize for a period of 10 minutes or until there was no variation above 2°C . Next, the entire test system was verified: the muffle furnace stabilized, the Data Acquisition System (DAS), the surface thermocouple of the TS (Ts), and the thermocouple to be inserted into the TS (Tc). The thermocouple (Tc) was then placed inside the TS and positioned inside the furnace. This operation lasted a maximum of 5 seconds. Immediate monitoring began, capturing the temperatures inside and on the surface of the TS. The test concluded when the temperatures of the two thermocouples stabilized for a period of 10 minutes. The test lasted approximately 30 minutes. Subsequently, the TS was removed from the muffle furnace, and no fragments or ash were observed. Once cooled, the TS was weighed. This procedure was repeated for the remaining 67 TS.

The simple compression test was initiated immediately thereafter. NBR 7215 (ABNT, 2019), which addresses the testing methodology for determining the compressive strength of cylindrical mortar specimens, was employed. The TSs were placed in the Universal Testing Machine (UTM), and the test was initiated. The machine utilized a script that allowed for test automation. The application of load was monotonous, with a loading rate of 1 mm/min (ABNT NBR 7215, 2019). Figure 05 shows: a detail of the TS during the test and the twin TS after the test.



Figure 05: Detail of TS during the test and TS after the test.

Source: Authors' collection.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

During the non-combustibility tests, no emission of fumes was observed. The furnace thermocouple temperature (TPf) did not have a significant variation, i.e., less than 50°C . No flaming of the TSs was observed during the test. Figure 06 presents a Boxplot graph of mass loss, indicating very small variation in results at each temperature. Table 03 presents the average mass loss, standard deviation, and coefficient of variation for each temperature. The coefficient of variation values were low, indicating little dispersion in the experimental results. The fracture patterns of the TSs were conical in shape.

Figure 07 displays the average mass loss values as a function of temperature. It can be observed that the average mass loss at a temperature of 1100°C was 4.99%, significantly lower than the allowed 50% (ISO 1182, 2020), and that the mass loss variation is linear with increasing temperature, as shown by equation (1).

$$M_{\text{loss}} = 0,0051 \times T \quad (R^2=0,99) \quad (1)$$

Where: M_{loss} = mass loss (%), T = temperature ($^{\circ}\text{C}$)

Al-Shwaiter and Awang (2023) and Ali and Lublóy (2022) comment that one of the properties contributing to the non-combustibility of composites is the presence of cement in the matrix. Cement in its composition contains components such as calcium oxide (CaO), which, when exposed to high temperatures, undergoes a calcination process, releasing water and other volatile compounds. This process acts as a protective layer, retarding fire propagation and safeguarding the underlying material. Furthermore, the incorporation of IOT into the cement matrix can contribute to improved fire resistance. IOT is rich in metallic oxides, which have flame-retardant properties. These metallic oxides act as physical barriers, impeding heat propagation and reducing material flammability.

Regarding the non-combustibility of the reject-cement TSs, it can be affirmed that the TSs meet all performance requirements, and can be considered a non-combustible product contributing to fire prevention

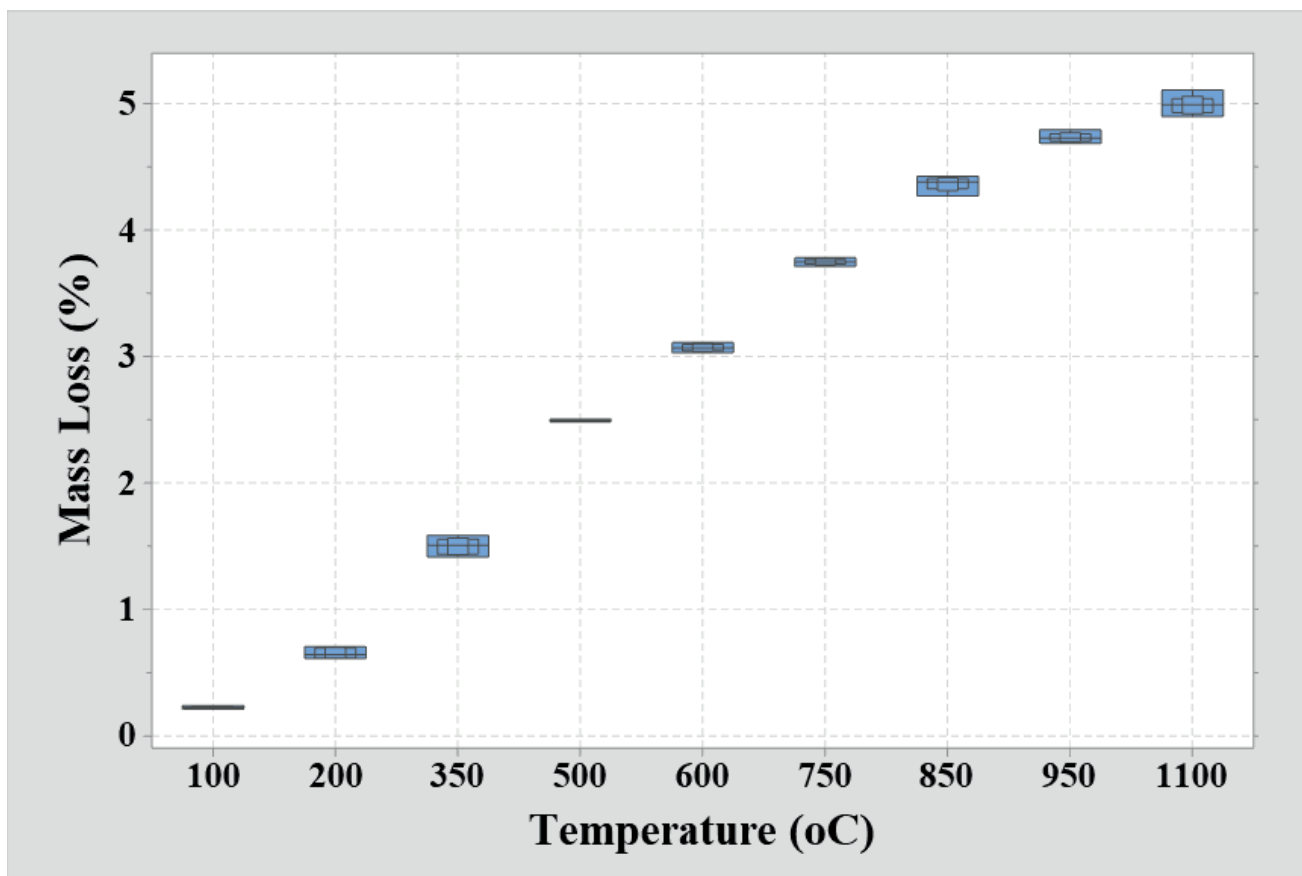


Figure 06: Mass Loss as a Function of Temperature.

Source: Authors' collection.

Temperature (°C)	Mass Loss (%)			Strength Loss (%)		
	Mean	Standard Deviation	Coefficient of Variation	Mean	Standard Deviation	Coefficient of Variation
100	0,22	0,010	4,464	1,57	0,023	1,485
200	0,65	0,041	6,296	13,64	0,591	4,336
350	1,49	0,061	4,109	30,18	1,593	5,276
500	2,49	0,008	0,335	42,78	0,698	1,632
600	3,07	0,028	0,913	54,42	0,296	0,544
750	3,75	0,023	0,626	67,69	1,421	2,099
850	4,36	0,054	1,242	71,81	0,330	0,460
950	4,73	0,036	0,759	77,31	0,240	0,311
1100	4,99	0,071	1,413	80,65	0,644	0,798

Table 03: Mass and Strength Loss with Descriptive Statistics.

Source: Authors' collection.

and firefighter safety (passive protection).

The results of compressive strength for the 7 TSs at different temperature ranges (100°C, 200°C, 350°C, 500°C, 600°C, 750°C, 850°C, 950°C, and 1100°C) and at room temperature (RT) are shown in the Boxplot graph of Figure 08. It is noticeable that as the temperature increases, the compressive strength decreases rapidly, with the loss becoming more pronounced after 350°C. Table 03 presents the average loss of strength, standard deviation, and coefficient of

variation for each temperature, demonstrating that the coefficients of variation for all temperatures are low, indicating good attainment of experimental results.

From Figure 07, it is evident that the average loss of strength at a temperature of 1100°C (T) was 80%, even with this loss, the TSs did not disintegrate, and its average compressive strength was 3.50 MPa, compared to an average strength of 18.17 MPa at room temperature (RT) (Figure 08), indicating a significant compromise in its strength.

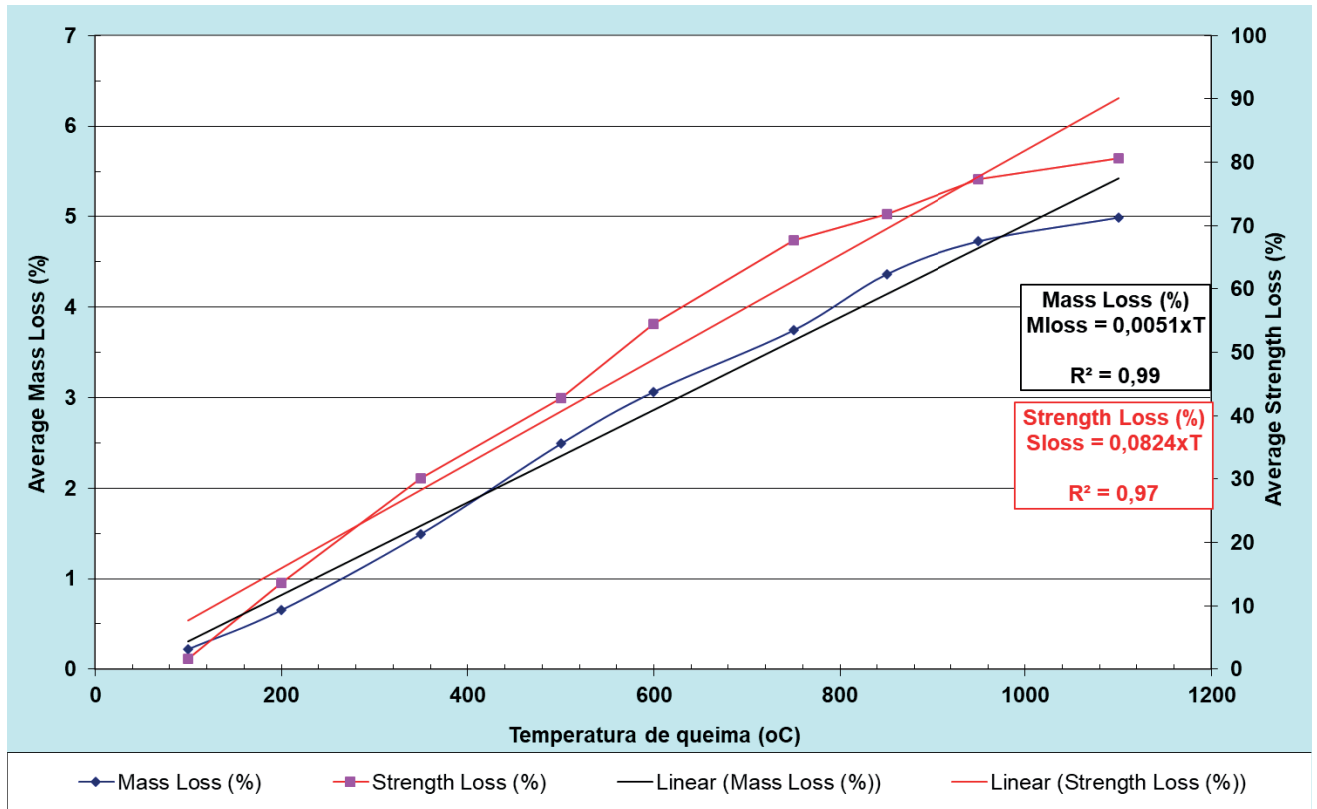


Figure 07: Mass Loss and Compressive Strength as a Function of Temperature (average values).
 Source: Authors' collection.

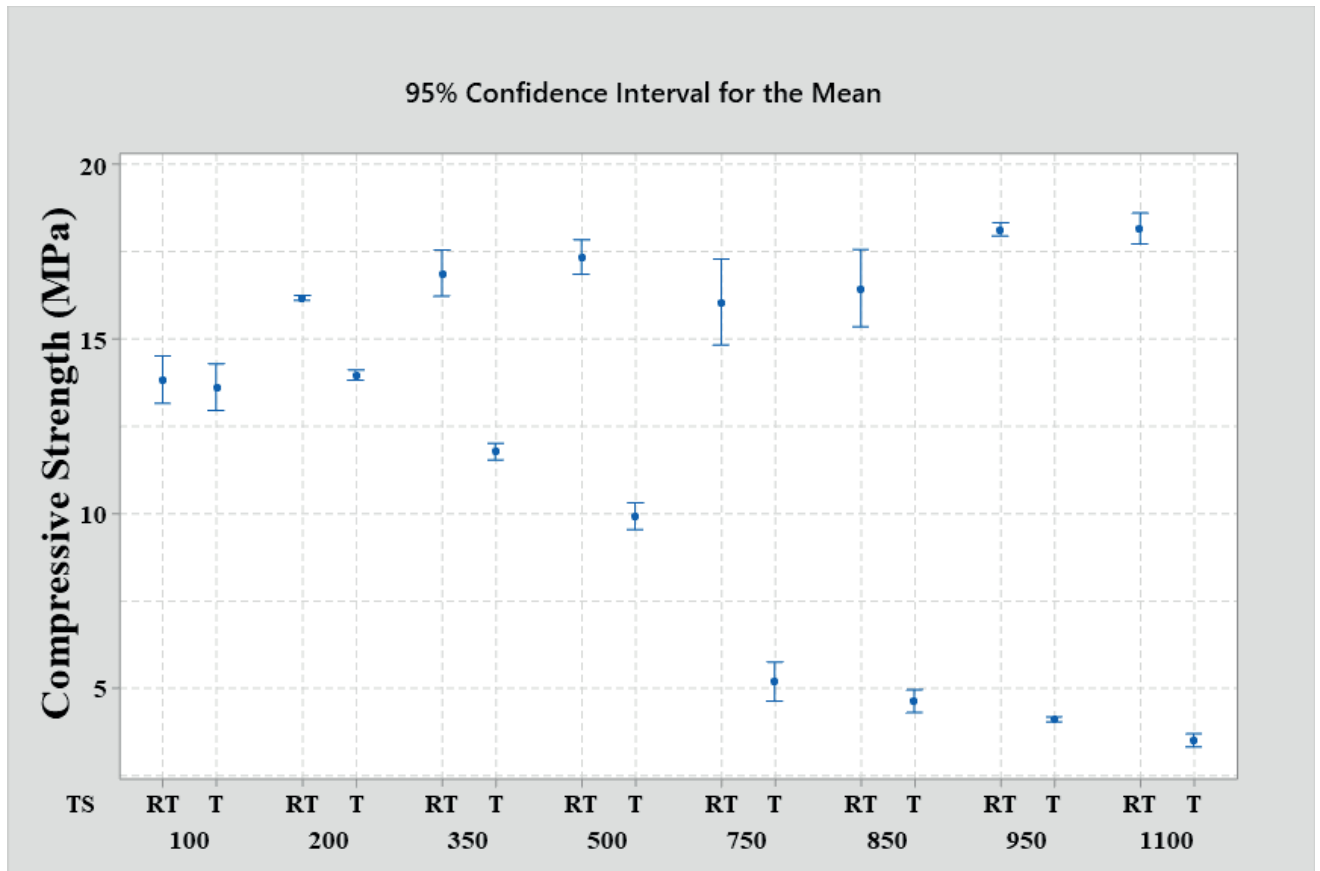


Figure 08: Compressive Strength as a Function of Temperature.
 Source: Authors' collection.

This decrease can be attributed to various factors, such as cement dehydration, loss of water associated with materials, and possible alterations in the composite's microstructure due to high temperatures. In general, there is a loss of free water, or capillary-stored water, in the temperature range of 30°C to 105°C, and this water is completely depleted by 120°C. Gypsum decomposition occurs in the temperature range of 110°C-180°C, and in the range of 180°C-240°C, the dehydration of calcium aluminate and hydrated aluminosilicates occurs. The combined loss of water from hydrated calcium silicate occurs between 50°C and 300°C; the dehydration of this silicate with respect to intercalated water occurs at 350°C; the release of adsorbed water from hydrated calcium silicate occurs around 400°C; the dehydration of calcium hydroxide occurs between 410°C and 580°C, and from 520°C to 900°C, the decomposition of calcium carbonate occurs (BACARJI, 2013; ALARCON-RUIZ et al., 2005; PAJÁ et al., 2003).

The variation of strength loss is linear with increasing temperature, as expressed in equation (2).

$$\text{Sloss}=0,0824 \times T \quad (R^2=0,97) \quad (2)$$

Where: Sloss = strength loss (%), T = temperature (°C)

4. CONCLUSIONS

The IOT/cement composites exhibit favorable non-combustibility properties due to the presence of cement in the matrix and the metallic oxides present in the IOT. However, it is important to consider the specific conditions of fire exposure and adopt appropriate fire protection measures to ensure the safety of constructions. The mass loss at a temperature of 1100°C was 4.99%, significantly lower than the permitted 50%, indicating that this composite is non-combustible.

The compressive strength of the IOT/cement composite is adversely affected by high temperatures. This reduction in strength can compromise the structural capacity of the material in fire situations and intense heat exposure. Therefore, it is essential to consider the effects of high temperatures during the design and use of this composite, developing specific guidelines to ensure its proper application in high-heat conditions. The loss of strength at a temperature of 1100°C was 80%."

REFERENCES

ALARCON-RUIZ, L.; MASSIEU, E.; PLATRET, G.;

EHRLACHER, A. The use of thermal analysis in assessing the effect of temperature on a cement paste. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 3, p. 609-613, 2005. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.015>

ALI, S. I. A., LUBLÓY, É. Fire resistance properties of heavyweight magnetite concrete in comparison with normal basalt- and quartz-based concrete. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 147, p. 11679-11691, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11407-3>

ALMADA, B. S.; MELO, H. S. S.; DUARTE, M. S.; MARIA TERESA PAULINO B, DAYANA CRISTINA AGUILAR, S. G.; SILVA, G. J. B.; SANTOS, W. J. Study of mechanical, durability and microstructural properties of cementitious composite with addition of different iron ore tailings from Brazil. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 18, p. 1947-1962, 2022. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.03.070>.

ALMADA, B. S.; SILVA, G. A.; AGUILAR, T. P.; GARCIA, D. C. S.; SILVA, G. J. B.; SANTOS, W. J. Evaluation of the microstructure and micromechanics properties of structural mortars with addition of iron ore tailings, **Journal of Building Engineering**, v. 63, part A, 105405, 2023. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105405>

AL-SHWAITER, A.; AWANG, H. Effect of elevated temperatures on strength and microstructural characteristics of foam concrete containing palm oil fuel ash as sand replacement. **Construction and Building Materials**, v. 376, n. 2, 131052, 2023. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131052>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, p. 9. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 14. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5628: **Componentes construtivos estruturais - Ensaio de resistência ao fogo**. Rio de Janeiro, p. 65. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, p. 12. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9442: **Materiais de construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante**. Rio de Janeiro, p. 20. 2019.

BACARJI, E. Sustainability perspective of marble and granite residues as concrete fillers. **Construction and Building Materials**, v. 45, p 1-10, 2013. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.032>

BAI, Y.; SUN, J.; ZHANG, R. Bonding Performance and Thermomechanical Coupling Analysis of Iron Ore Tailings Reinforced Concrete. **International Journal of Heat and Technology**, v. 40, n. 1, p. 193-200, 2022. DOI:<https://doi.org/10.18280/ijht.400123>

BALAJI, C. R.; AZEVEDO, A. R. G.; MADURWAR, M. Sustainable perspective of ancillary construction materials in infrastructure industry: An overview. **Journal of Cleaner Production**, v. 365, n. 10, 132864, 2022. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132864>

CAMPOLINA, V. F.; BRETAS, M. G.; CARVALHO, F. A.; COSTA, R. O. B.; PRAT, B. V. Incorporação de Resíduos Siderúrgicos à Confecção de Blocos de Solo-Cimento. **Mix Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 83-100, 2023. DOI:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.83-100>

CARRASCO, E. V. M.; MAGALHAES, M. D. C.; SANTOS, W. J. D.; ALVES, R. C.; MANTILLA, J. N. R. Characterization of mortars with iron ore tailings using destructive and nondestructive tests. **Construction and Building Materials** v. 131, n. 30, p. 31-38, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.065>

CHEN, Z.; CHEN, S.; ZHOU, Y.; ZHANG, C.; MENG, T.; JIANG, S.; LIU, L.; HU, G. Effect of incorporation of rice husk ash and iron ore tailings on properties of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 338, n. 4, 127584, 2022. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127584>

DAHISH, H. A.; ALMUTAIRI, A. D. Effect of elevated temperatures on the compressive strength of nano-silica

and nano-clay modified concretes using response surface methodology. **Case Studies in Construction Materials**, v. 18, e02032, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02032>

DAHISH, H. A.; ALMUTAIRI, A. D. Effect of elevated temperatures on the compressive strength of nano-silica and nano-clay modified concretes using response surface methodology. **Case Studies in Construction Materials**, v. 18, e02032, 2023. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02032>

DUARTE, M. S.; ALMADA, B. S.; SANTOS, W. J.; BESSA, S. A. L.; BEZERRA, A. C. S.; AGUILAR, M. T. P. Influence of mechanical treatment and magnetic separation on the performance of iron ore tailings as supplementary cementitious material. **Journal of Building Engineering**, v. 59, p. 105099, 2022. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105099>

FIGUEIREDO, R. A. M.; SILVEIRA, A. B. M.; MELO, E. L. P.; COSTA, G. Q. G.; BRANDÃO, P. R. G.; AGUILAR, M. T. P.; HENRIQUES, A. B.; MAZZINGHY, D. B. Mechanical and chemical analysis of one-part geopolymers synthesized with iron ore tailings from Brazil. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 14, p. 2650-2657, 2021. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.153>

GAO, F-RONG; JIA, YONG-SHENG; MA, ZHAN-GUO; ZHANG, ZHONG-ZHE; ZHANG, J.; XUE, Q. Improvement effect of a double-level phase change material on compressive strengths of Portland cementitious materials after elevated temperatures. **Journal of Sustainable Cement-Based Materials**, v. 12, n. 6, p. 661-671, 2023. DOI:<http://dx.doi.org/10.1080/21650373.2022.2109773>

INTERNATIONAL STANDARD. ISO 1182: Reaction to fire tests for products - Non-combustibility test. **Paris**, p. 125. 2020.

JHATIAL, A.A.; NOVÁKOVÁ, I.; GJERLØW, E. A Review on Emerging Cementitious Materials, Reactivity Evaluation and Treatment Methods. **Buildings**, v, 13, 526. 2023. DOI:<https://doi.org/10.3390/buildings13020526>

LI, Q.; LIU, P.; WANG, M.; XIA, H.. Effects of elevated temperature on the mechanical properties of concrete with aggregate of waste porcelain tile, **Journal of Building Engineering**, Volume 64, n. 1, 105585, 2023.

DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105585>

LI, W.; LEI, G.; XU, Y.; HUANG, Q. The properties and formation mechanisms of eco-friendly brick building materials fabricated from low-silicon iron ore tailings. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, n. 10, p. 685-692, 2018. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.309>

MD AZREE, O.M. Evaluation of the Mechanical Properties of Lightweight Foamed Concrete at Varying Elevated Temperatures. **Fire, Basel**, v. 6, n. 2, 53, 2023. DOI:<https://doi.org/10.3390/fire6020053>

PAYÁ, J.; MONZÓ, J.; BORRACHERO, M. V.; VELÁZQUEZ, S. Evaluation of the pozzolanic activity of fluid catalytic cracking catalyst residue (FC3R). Thermogravimetric analysis studies on FC3R-Portland cement pastes. **Cement and Concrete Research**, v. 33, p. 603-609 2003. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01026-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01026-8)

RAMZI, S.; MORADI, M. J.; HAJILOO, H. The Study of the Effects of Supplementary Cementitious Materials (SCMs) on Concrete Compressive Strength at High Temperatures Using Artificial Neural Network Model. **Buildings**, v. 13, n. 5, 1337, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13051337>

SANTOS, W. J.; ALVARENGA, R. C. S. S.; PEDROTI, L. G.; SILVA, R. C.; FREIRE, A. S.; MORAES, B. A.; CARVALHO, C. C. Proposta de método de dosagem para argamassas de revestimento com areia artificial de britagem. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 225-243. 2018. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100218>

TANG, C.; LI, K.; NI, W.; FAN, D. Recovering Iron from Iron Ore Tailings and Preparing Concrete Composite Admixtures. **Minerals**, v. 9, n. 4, 232, 2019. DOI:<https://doi.org/10.3390/min9040232>

TAURINO, R.; BONDIOLI, F.; MESSORI, M. Use of different kinds of waste in the construction of new polymer composites: review. **Materials Today Sustainability**, v. 21, n. 3, 100298, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2022.100298>

ZHANG, D., TAN, K. Fire performance of ultra-high

performance concrete: effect of fine aggregate size and fibers. **Archives of Civil and Mechanical Engineering**, v. 22, n. 116, p. 1-14, 2022. DOI:<https://doi.org/10.1007/s43452-022-00430-8>

ZHAO, S. J.; FAN, J.J.; SUN, W. Utilization of iron ore tailings as fine aggregate in ultra-high performance concrete. **Construction and Building Materials**, v. 50, p. 540-548. 2014. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.019>

ACKNOWLEDGMENTS

The researchers acknowledge Samarco for providing the material and financial support. They also thank CNPq and FAPEMIG for their financial assistance.

AUTHORS

ORCID: 0000-0001-7870-0283

EDGAR VLADIMIRO MANTILLA CARRASCO, Dr. | Professor Adjunto Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo- Escola de Arquitetura | Universidade Federal de Minas Gerais - email: mantilla.carrasco@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7426-0970>

JUDY NORKA RODO MANTILLA, Dra. | Professora assistente da Universidade FUMEC | judynorka@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2664-0569>

ELIENE PIRES CARVALHO, Dra. | Professora Titular do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) | email: eliene@cefetmg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7896-8669>

MARCO ANTÔNIO PENIDO DE REZENDE, Dr. | Prof. Dr. do Departamento de Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo, Escola de Arquitetura, UFMG | email: <http://lattes.cnpq.br/8413549938151614>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4059-3974>

REJANE COSTA ALVES, Dra. | Engenharia de Estruturas, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira/ CCAE/ UFES email: rejanealves.ufes@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3839-5728>

Maria Teresa Gomes Barbosa, Dra. | Faculdade de Engenharia - UFJF | email: teresa.barbosa@ufjf.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7451-3365>

WHITE JOSÉ DOS SANTOS, Dr. | Engenharia de estruturas.
Departamento de materiais de construção civil, escola de engenharia UFMG. | email: white.santos@demc.ufmg.br

HOW TO CITE THIS ARTICLE

CARRASCO, Edgar Vladimiro Mantilla; MANTILLA, Judy Norka Rodo; CARVALHO, Eliene Pires; BARBOSA, Maria Teresa Gomes; REZENDE, Marco Antônio Penido de; ALVES, Rejane Costa; BARBOSA, Maria Teresa Gomes; SANTOS, White José dos. *MIX Sustentável*, v. 9, n. 10, p. 93-108, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.93-108>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.93-108).

SUBMETIDO EM: 06/08/2023

ACEITO EM: 20/12/2023

PUBLICADO EM: 11/04/2024

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRedit Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

EVMC: conceituação, curadoria de dados, análise formal, aquisição de financiamento, investigação, metodologia, administração de projetos, programas, supervisão, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

JNRM: conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, administração de projetos, supervisão, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

EPC: metodologia, validação, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

MAPR: metodologia, validação, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

RCA: curadoria de dados, metodologia, validação, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

MTGB: metodologia, validação, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

WJS: metodologia, validação, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

Conflict of interest: nothing has been declared.

PRODUÇÃO ARTESANAL DO ADOBE E COMPOSIÇÃO ORÇAMENTÁRIA NO EIXO ITABUNA-ILHÉUS-URUÇUCA, BAHIA

CRAFTED ADOBE PRODUCTION AND BUDGET COMPOSITION AT ITABUNA-ILHEUS-URUÇUCA AXIS, BAHIA

PRODUCCIÓN ARTESANAL DE ADOBE Y COMPOSICIÓN PRESUPUESTARIA EN ITABUNA-ILHÉUS-URUÇUCA, BAHIA

LUIZ EDUARDO SOUZA DA SILVA, Me. | UFSB - Universidade Federal do Sul da Bahia, Brasil

SILVIA KIMO COSTA, Dra. | UFSB - Universidade Federal do Sul da Bahia, Brasil

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados da pesquisa que objetivou analisar o processo de fabricação do adobe na área de abrangência do eixo Itabuna – Ilhéus – Uruçuca, municípios localizados no Litoral Sul do Estado da Bahia, considerando os custos associados à sua manufatura (composição orçamentária). Foram escolhidas duas localidades rurais para coleta de dados, o Assentamento João Amazonas e o Projeto Sapê Ecológico. A metodologia compreendeu a observação participante para descrição e registro do processo de produção do adobe nas localidades selecionadas. A composição orçamentária contemplou: 1 cálculo do volume de barro mínimo necessário para suprir a produção diária (que variou conforme a localidade analisada); 2 cálculo do custo para escavação (mecanizada ou não mecanizada); 3 cálculo do custo de carga, transporte e descarga de material (manual ou mecanizado); 4 cálculo do custo de mistura, moldagem e desmoldagem do adobe e 5 cálculo do preço unitário do adobe. Os resultados mostraram que, em relação à fabricação do adobe, constatou-se que o processo se mantém vernáculo compreendendo moldagem dos blocos de terra em estado plástico em formas de madeira, desforma e secagem ao ar. No que se refere ao custo final para produção do adobe, a coleta de dados permitiu encontrar dois valores unitários: R\$2,34 a unidade adobe no Assentamento João Amazonas e R\$2,82 no Projeto Sapê Ecológico. Ambos podem ser considerados como parâmetro para precificação de venda do elemento construtivo, caso se mantenham as condições de produção, já que o custo para fabricação arca com os custos de materiais e honorários dos envolvidos na produção. Constituindo-se, dessa forma, fonte de renda para tais localidades.

PALAVRAS-CHAVE

Construção com terra; orçamento; custo.

ABSTRACT

This article presents the results of research that aimed to analyze the adobe manufacturing process in the area covered by the Itabuna – Ilhéus – Uruçuca axis, municipalities located on the South Coast of the State of Bahia, Brasil, considering the costs associated with its manufacture (budget composition). Two rural locations were chosen for data collection, the João Amazonas Settlement and the Sapê Ecológico Project. The methodology included participant observation to describe and record the adobe production process in the selected locations. The budgetary composition included: 1 calculation of the minimum volume of clay needed to supply the daily production (which varied according to the location analyzed); 2 calculation of the cost for excavation (mechanized or non-mechanized); 3 calculation of



the cost of loading, transporting and unloading material (manual or mechanized); 4 calculation of the cost of mixing, molding and demolding adobe and 5 calculation of the unit price of adobe. The results showed that, in relation to the manufacture of adobe, it was found that the process remains vernacular, comprising molding the earth blocks in a plastic state in wooden forms, removing them and drying them in the air. With regard to the final cost of adobe production, data collection allowed us to find two unit values: R\$2.34 per adobe unit in the João Amazonas Settlement and R\$2.82 in the Sapê Ecológico Project. Both can be considered as a parameter for pricing the sale of the constructive element, if the production conditions are maintained, since the manufacturing cost bears the costs of materials and fees of those involved in the production. Thus constituting a source of income for such localities.

KEYWORDS

Earth construction; budget; cost.

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de una investigación que tuvo como objetivo analizar el proceso de fabricación del adobe en el área del eje Itabuna – Ilhéus – Uruçuca, municipios ubicados en el Litoral Sur del Estado de Bahía, considerando los costos asociados a su fabricación (composición del presupuesto). Se eligieron dos localidades rurales para la recolección de datos, el Asentamiento João Amazonas y el Proyecto Sapê Ecológico. La metodología incluyó la observación participante para describir y registrar el proceso de producción del adobe en los lugares seleccionados. La composición presupuestaria incluía: 1 cálculo del volumen mínimo de arcilla necesario para abastecer la producción diaria (que variaba según el lugar analizado); 2 cálculo de costos de excavación (mecanizada o no mecanizada); 3 cálculo del costo de carga, transporte y descarga de material (manual o mecanizado); 4 cálculo del costo de mezcla, moldeo y desmoldeo del adobe y 5 cálculo del precio unitario del adobe. Los resultados mostraron que, en relación a la fabricación del adobe, se encontró que el proceso sigue siendo vernáculo, consistente en moldear los bloques de tierra en estado plástico en formas de madera, retirarlos y secarlos al aire. Con relación al costo final de producción de adobe, la recolección de datos encontró dos valores unitarios: R\$ 2,34 por unidad de adobe en el Asentamiento João Amazonas y R\$ 2,82 en el Proyecto Sapê Ecológico. Ambos pueden ser considerados como un parámetro para tarifificar la venta del elemento constructivo, si se mantienen las condiciones de producción, ya que el coste de fabricación corre con los costes de materiales y honorarios de los que intervienen en la producción. Constituyéndose así en una fuente de ingresos para dichas localidades.

PALABRAS CLAVE

Construcción con tierra; presupuesto; costo.

1. INTRODUÇÃO

A palavra espanhola “adobe” vem do árabe “attob” relacionado ao egípcio “thobe” que significa tijolo de barro seco ao ar (MAURICIO et al., 2021). De acordo com Costa et al. (2019) e Kamal e Rahman (2018), é uma das técnicas construtivas com terra mais antigas do mundo que oferece benefícios econômicos e ambientais, especialmente quando usado em países em desenvolvimento onde os custos de material se sobrepõem aos custos de mão de obra.

Desde a revolução industrial (séculos XIX e XX) o processo construtivo das edificações vem substituindo o adobe por outros materiais e técnicas construtivas (VALIN JUNIOR; RIBEIRO JUNIOR; SARAIVA, 2020; TOMASI; BELLMANN, 2018). Entretanto, a produção do adobe proporciona redução do consumo de água, de energia primária incorporada e da pegada de CO₂, pois não envolve o aquecimento das matérias-primas ao contrário do tijolo cerâmico convencional (CALATAN et al., 2016; BRAGA, 2018).

No Brasil, onde o déficit habitacional estimado alcança 5,876 milhões de domicílios, dos quais aproximadamente 460 mil referem-se somente às áreas rurais do Nordeste (FJP, 2021), é latente a necessidade de soluções construtivas não só de baixo custo como também de baixo impacto ambiental. Atualmente, o emprego do adobe está voltado para construção própria em mutirão, isto é, para suprir a demanda habitacional nos locais onde são fabricados (PEREIRA et al., 2014). Contudo, havendo viabilidade de produção e precificação, a comercialização do adobe poderia se tornar meio de sustento financeiro para quem fabrica tal elemento construtivo.

Considerando o exposto, a pesquisa que subsidiou o presente artigo, partiu da seguinte hipótese: pessoas de baixa renda em localidades rurais, que fabricam o adobe para construção de suas edificações, não comercializam o produto porque desconhecem o processo de criação de composição orçamentária.

Sendo assim, objetivou-se analisar o processo de fabricação do adobe na área de abrangência do eixo Itabuna – Ilhéus – Uruçuca; municípios localizados no Litoral Sul do Estado da Bahia, considerando os custos associados à sua manufatura (composição orçamentária).

Pontua-se que a escolha da localidade para coleta dos dados está associada às pesquisas que são desenvolvidas desde 2018 no que se refere à sustentabilidade do ambiente construído envolvendo aspectos da arquitetura vernácula e bioconstrução (PEREIRA; COSTA, 2022; SOUZA; SANTOS; COSTA, 2021; DE JESUS;

BUONICONTRO; COSTA, 2020).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O adobe é uma das técnicas construtivas com terra mais conhecidas no mundo. Ao longo dos séculos é utilizado como componente da alvenaria estrutural e de vedação tanto em ocupações rurais quanto urbanas (COSTA et al., 2021).

No Brasil “os sistemas construtivos com terra foram introduzidos e largamente utilizados no período colonial, entre os séculos VXII e XVIII, por influência da arquitetura característica vigente em Portugal à época, e também por influência dos povos africanos trazidos como escravos” (SANTOS; BESSA, 2020, p. 54).

De maneira simplificada, o processo de fabricação do adobe consiste em moldar blocos de terra em estado plástico em formas de madeira, desformar e secá-los ao ar (GUBASHEVA, 2017; CARVALHO, 2012).

De acordo com Pino, Herrera e Peñarada (2021) a utilização do adobe possibilita não só redução do custo construtivo da edificação como se constitui num elemento sustentável, reversível e reciclável. Além disso, o adobe apresenta propriedades do ponto de vista do conforto térmico, acústico e possibilita a revalorização de técnicas construtivas ancestrais (SOGLIO, 2019).

Considerando que a pesquisa realizada envolveu a descrição do processo de fabricação do adobe e de sua composição orçamentária, dentre as pesquisas que descrevem o processo de fabricação do elemento construtivo destacam-se:

Costa et al. (2021) caracterizaram 41 diferentes adobes na costa central de Portugal. Segundo os autores, o adobe português pode ser classificado em dois tipos: “adobo” referente ao adobe estabilizado com cal e o adobe de terra. O primeiro pode ser encontrado na região de Aveiro onde a cal é utilizada em função do solo arenoso; já o segundo, caracteriza-se pelo solo argiloso, geralmente carregado de fibras vegetais. Quanto à fabricação, os autores descrevem que o processo envolve o molde dos blocos em formas de madeira e posterior secagem ao ar. Pontuam que o processo de fabricação vernácula predominou até 1940. A partir de 1960, o adobe tornou-se um sistema construtivo misto, devido à influência das indústrias cerâmicas na região.

Moreira et al. (2020) analisaram o registro do processo de fabricação do adobe em dois Workshops (oficinas) disponíveis em vídeos documentais no YouTube. O primeiro referente ao processo realizado em Portugal e o segundo no Brasil. Os autores destacam que as oficinas mostram

que a técnica vernácula de fabricação do elemento construtivo é mantida, compreendendo: extração da argila, o fabrico, a secagem ao ar e a guarda. Apontam que “as oficinas descritas produzem adobe e têm situações semelhantes e contrastantes” e que se mantêm em função da demanda local pela produção de tijolos com terra.

Braga (2018) registrou e analisou a presença da técnica vernácula em adobe em Lapinha da Serra, Santana do Riacho, Minas Gerais, Brasil. A autora descreveu o processo de fabricação do adobe por meio de registro fotográfico e entrevistas com moradores da comunidade. O processo envolve: extração local da matéria-prima (solo argiloso, areia e água); mistura (por pisoteio), moldagem em formas de madeira, desforma e secagem ao ar.

Ferreira (2017) caracterizou a construção com terra na região de Leiria em Portugal, com intuito de contribuir para sua conservação. O autor encontrou edificações construídas em taipa e em adobe. Quanto ao processo de fabricação do adobe, o autor descreve a composição do bloco por terra, misturada a areia e fibras vegetais e destaca que o elemento construtivo era fabricado no local, “ou nas proximidades do local onde se pretendia edificar. Depois de ocorrer a retração de secagem inicial, o adobe era retirado do molde e seco durante aproximadamente quinze dias, permitindo assim a realização de elementos construtivos resistentes, tais como paredes ou arcos” (FERREIRA, 2017, p. 10).

Quanto a composição orçamentária do processo de fabricação do adobe, verificou-se escassa bibliografia sobre o tema.

As publicações encontradas abordam estudos de viabilidade econômica do uso do adobe como elemento construtivo de baixo custo, dentre as quais destacam-se:

Camargo, Molina e Ruiz (2022) elaboraram o projeto arquitetônico de um conjunto de salas para o curso de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva, São Paulo, considerando o adobe como elemento construtivo. Os autores escolheram o adobe por ser um material de baixo impacto ambiental, reutilizável e de baixo custo para produção.

Molina e Angumba (2021) estudaram o custo de construção de habitações em adobe em áreas rurais da cidade de Cuenca, Espanha. Os resultados mostraram que o adobe possibilita redução no custo de construção da edificação em torno de 30%, podendo ser ainda mais reduzido se as habitações forem autoconstruídas em mutirão.

Hegyl, Dico e Călătan (2016) estudaram os aspectos de sustentabilidade ambiental do adobe como elemento construtivo, destacando-o como material reciclável, reutilizável e de baixo custo.

Benghida (2015) estudou os aspectos do adobe como material natural, durável e de baixo custo para construção de edificações ao redor do mundo. Destacou que o elemento construtivo é o mais indicado para construção habitacional acessível frente à demanda da população de baixa em países em desenvolvimento.

Pereira et al. (2014) projetaram uma bioalvenaria de vedação, produzida a partir da terra crua, especificamente o adobe, para a construção de habitações de interesse social, em Serra Branca e Sumé no Cariri Paraibano. A escolha do elemento construtivo se deu por oferecer as seguintes vantagens: baixo custo em relação à matéria-prima (terra), à produção e energia. Os autores destacaram que, “para construção de habitação de interesse social (HIS) em cidades pequenas, com grande disponibilidade da matéria-prima (terra) e canteiro de obras organizado, é possível realizar várias habitações de maneira semiartesanal, garantindo padronização e maior controle de qualidade” (PEREIRA et al., 2014, p. 74).

Volonnino et al. (2014), relataram o processo de fabricação, em regime de mutirão, de 550 adobes, utilizados para a construção da casa ecológica que abriga o Núcleo de Agroecologia e serve como espaço de convivência para os integrantes do Instituto Federal de São Paulo (IFSP) campus São Roque. Os autores relataram que os adobes foram produzidos ao longo de três meses e apresentaram boa consistência e baixo custo de produção.

No que tange a estudos comparativos de viabilidade econômica entre o uso do adobe e da alvenaria convencional para construção de edificações, contemplando levantamento de custos, destaca-se o estudo realizado por Marques (2017). O autor realizou o estudo comparativo para construção de habitação de interesse social. Os resultados da pesquisa mostraram que o custo dos elementos de vedação com adobe correspondeu a cerca de 35% da redução do custo total de construção da habitação quando comparado ao uso do bloco cerâmico.

A escassez de publicações que tratam especificamente dos aspectos de composição orçamentária do processo de fabricação do adobe, ressalta a importância da pesquisa realizada.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Atividade de campo

Para coleta das informações em campo procedeu-se com a abordagem metodológica da observação participante, que, segundo Minaio, Deslandes e Gomes (2016, p. 64),

trata-se de processo através do qual “o pesquisador se coloca como observador de uma situação social com a finalidade de realizar uma investigação científica”.

Embora a observação participante faça com que o “observador seja parte do contexto de sua observação e, sem dúvida, modifique esse contexto, por interfere nele, assim como é modificado pessoalmente” (MINAIO; DESLANDES; GOMES, 2016, p. 64), durante a coleta dos dados, ateu-se à observação unicamente para descrição do processo de fabricação do adobe nas localidades selecionadas para a pesquisa.

A observação contemplou: a) descrição do processo de fabricação do adobe e b) os materiais utilizados foram listados e o quantitativo mensurado, assim como os intervalos de tempo gastos entre as etapas de fabricação, que contemplam desde a extração da matéria-prima (terra) ao processo de secagem do adobe (PEREIRA et al., 2014).

A atividade de campo envolveu o registro fotográfico do processo de fabricação do adobe. O uso das imagens para fins de publicação, encontra-se autorizado pelo Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética n. 5.700.715/ 2022.

3.2. Composição orçamentária

A composição orçamentária considerou os procedimentos sugeridos por Tisaka (2011) e Matos (2009) e compreendeu as seguintes etapas:

Etapa 1: cálculo do volume de barro mínimo necessário para suprir a produção diária (que variou conforme a localidade analisada) – considerou-se o quantitativo de unidades fabricadas em função do fornecimento ininterrupto de barro, horas de trabalho, traço do barro e dimensão das formas utilizadas.

Etapa 2: cálculo do custo para escavação (mecanizada ou não mecanizada) – considerou-se o volume de escavação da terra em relação à produção mínima diária do adobe.

Etapa 3: cálculo do custo de carga, transporte e descarga (manual ou mecanizado) – considerou-se a distância entre o local de onde a matéria prima foi extraída e o transporte até o local para produção do adobe.

Etapa 4: cálculo do custo de mistura (obtenção do barro), moldagem e desmoldagem do adobe – considerou-se o volume mínimo de mistura em relação ao tempo de produção de cada “masseira”.

Etapa 5 – preço unitário do adobe – somatório dos custos associados à cada etapa de produção do adobe divididos pela quantidade de adobes produzidos diariamente em cada localidade.

Como referência, utilizou-se a base de preços SINAPI, disponibilizada pela Caixa Econômica Federal. A base de

preços SINAPI, inclui, além dos materiais, os salários dos profissionais envolvidos na produção, com encargos sociais, transporte e alimentação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Área de abrangência da pesquisa

A área de abrangência da pesquisa se estende do município de Ilhéus a Itabuna, incluindo Uruçuca e áreas rurais circunvizinhas, localizados no Litoral Sul do Estado da Bahia (Figura 01).

A região apresenta clima litoral úmido, caracterizada por microclima quente, úmido e sub-úmido, com temperaturas anuais variando entre 20° e 30°C. As chuvas são regulares ao longo do ano e mais abundantes nos meses de maio a agosto (OLIVEIRA et al., 2017).

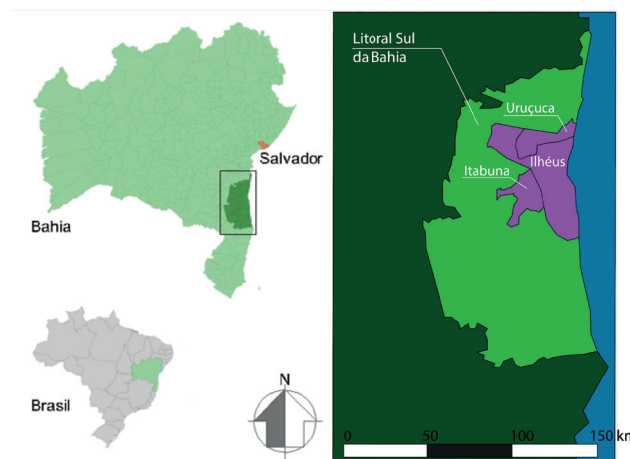


Figura 01: Área de abrangência da Pesquisa.
Fonte: Adaptado de Pereira e Costa (2022).

Segundo o IBGE (2022), Itabuna possui 401,028 km² de extensão territorial, população estimada equivalente a 214.123 habitantes, densidade demográfica de 473,5hab/km² e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) correspondente a 0,712. É limítrofe com os seguintes municípios: Buerarema, Barro Preto, Ibicaí, Ilhéus, Itajuípe, Itapé e Jussari.

Ilhéus possui 1.588,555 km² de extensão territorial, população estimada equivalente a 157.639 habitantes, densidade demográfica de 104,67 hab/km² e IDHM correspondente a 0,690. É limítrofe com os seguintes municípios: Aurelino Leal, Buerarema, Coaraci, Itabuna, Itacaré, Itajuípe, Itapitanga, Una, Uruçuca.

Já Uruçuca possui 510,032 km² de extensão territorial, população estimada equivalente a 20.312 hab, densidade demográfica de 39,8 hab/km² e IDHM correspondente a 0,616. É limítrofe com os seguintes municípios: Aurelino Leal, Ilhéus, Itacaré e Itajuípe.

A região é caracterizada pela cultura da lavoura caqueira. De acordo com Pereira e Costa (2022, p. 49), “a produção de amêndoas de cacau foi a cultura que mais predominou ao longo dos anos da ocupação e formação do território, configurando seus aspectos sociais, econômicos, culturais e ecológicos. (...) A dinâmica da produção e exportação caqueira desenhou um centro regional binário urbano, composto pelas cidades de Ilhéus e Itabuna, que concentra mais de 50% dos habitantes e é responsável por mais de 60% do PIB produzido”.

Ainda segundo Pereira e Costa (2022), a vegetação que compõe a cultura caqueira, influenciou a ocupação e formação do território onde se encontra a área de abrangência da Pesquisa, sendo esta constituída por floresta ombrófila densa, conhecida como Mata Atlântica.

Dessa forma, a região apresenta diversas Unidades de Conservação Integral e Unidades de Uso Sustentável, onde são implantadas ecovilas, caracterizadas pela bioconstrução de edificações.

4.2. Localidades escolhidas para coleta dos dados

Para encontrar sítios ou artesões que dominassem a produção do adobe na área de abrangência da pesquisa, consultou-se o Inventário Nacional de Referências Culturais (INRC, 2022), publicado pelo IPHAN, que indica nomes e localização de mestres do saber em diversas áreas do conhecimento. Apesar da vasta gama de informações relacionadas à construção em terra no eixo Itabuna – Ilhéus - Uruçuca, encontrou-se dificuldade em contatar os profissionais listados no inventário.

Sendo assim, realizou-se buscas em sites de produção de conteúdo, o que possibilitou identificar os bioconstrutores mais atuantes na região. Após contatos, foram selecionadas duas propriedades rurais nas quais ocorrem a produção do adobe em maior escala. A primeira situada no município de Uruçuca - Assentamento João Amazonas, e a segunda na zona rural do município de Itabuna (eixo Ilhéus – Itabuna) – Projeto Sapê Ecológico.

O Assentamento João Amazonas é uma cooperativa habitacional criada em 2004, localizada na rodovia Ilhéus-Uruçuca, a 33 km do centro de Ilhéus. Possui área total correspondente a 833,26 ha e 74 famílias assentadas.

A produção do adobe ocorreu com a finalidade de construção de uma escola para atendimento da comunidade local (figura 02). O projeto foi realizado por meio de parceria entre o Assentamento João Amazonas e a Associação Global Social (sem fins lucrativos). A edificação, ainda em fase construção, é feita com alvenaria de adobe (vedação e estrutura).



Figura 02: Escola do Assentamento João Amazonas.
Fonte: acervo pessoal dos autores (2023).

O Projeto Sapê Ecológico (figura 03) é uma iniciativa particular de construção em terra iniciada em 2020 pelo professor e bioconstrutor Rafael Almeida. A edificação encontra-se situada em área rural, a 11km do centro de Itabuna. A produção do adobe iniciou-se pelo desejo do proprietário em construir uma habitação com técnicas que utilizassem a terra como elemento principal de vedação, na qual também fosse possível obter uma edificação segura, com o menor custo possível.



Figura 03: Projeto Sapê Ecológico.
Fonte: acervo pessoal dos autores (2023).

4.3. Processo de produção do adobe

De início, informa-se que a produção do adobe nas duas localidades seguiu procedimento similar ao descrito nos estudos realizados por Moreira et al. (2020) e Braga (2018): extração de matéria-prima local (terra), mistura através do pisoteio, moldagem do adobe em formas fabricadas (as dimensões das formas não atendem a recomendação da ABNT NBR 16814), desmoldagem e secagem ao ar.

Pontua-se que as formas usadas no Assentamento João Amazonas (de madeira com revestimento interno

Área de produção do adobe	Devido ao alto índice pluviométrico durante o decorrer do ano, a fabricação do adobe deu-se em local situado a aproximadamente a 300 metros do local de construção da edificação.
Coleta dos materiais	Os materiais necessários à produção do adobe foram coletados nas proximidades da obra ou em fazendas vizinhas: terra, água, fibras vegetais, esterco.
Fibras vegetais	Utilizou-se a palha, oriunda do corte da grama disponível no entorno do local de produção.
Esterco	O esterco bovino, coletado das fazendas circunvizinhas, foi colocado em “repouso” para fermentação, armazenado em reservatórios e posteriormente hidratado por aproximadamente 24 horas.
Areia	Utilizou-se areia média lavada, adquirida no mercado.
Formas utilizadas	As formas fabricadas in loco têm dimensões de 27,5 cm x 13 cm x 9,5 cm

Quadro 01: Assentamento João Amazonas.
Fonte: Autores.

em alumínio) e no Projeto Sapê Ecológico (de alumínio) foram fabricadas em tais localidades.

Relata-se ainda que a análise de granulometria da terra, para determinar a necessidade ou não de adição de areia média, foi realizada pelos construtores de maneira empírica. Ou seja, a partir da prática e da observação.

4.3.1. Assentamento João Amazonas

O quadro 01 apresenta a síntese das informações referentes ao processo de produção do adobe no Assentamento João Amazonas.

A terra foi retirada com auxílio de uma retroscavadeira e um trator e transportada para o local de produção do adobe.

Como já mencionado, as formas foram fabricadas de madeira com partes internas revestidas em alumínio. Segundo os construtores, o revestimento em alumínio foi feito para facilitar a moldagem e desmoldagem do adobe, além de melhorar a durabilidade e o processo de limpeza das formas.

A figura 04 apresenta a forma confeccionada para produção do adobe no Assentamento João Amazonas.



Figura 04: Forma confeccionada para produção do adobe no Assentamento João Amazonas.
Fonte: Acervo pessoal dos autores (2023).

O processo de produção do barro envolveu as seguintes etapas: primeiramente a terra com a areia foram misturados, posteriormente se adicionou a palha e por fim o esterco.

A água foi adicionada aos poucos durante a mistura até obter a consistência adequada para a moldagem do adobe. O material foi misturado por aproximadamente 10 minutos e, por conseguinte, pisoteado até que a mistura ficasse homogênea para ser colocada nas formas.

O barro foi deixado em repouso por 24 horas. No dia seguinte o barro foi reidratado, procedendo-se a moldagem e desforma dos adobes, os quais foram deixados à sombra para secagem, conforme apresentado na figura 5.

Quanto ao traço do barro, foram utilizados um carrinho de mão de 50L para transporte e medidas da terra e da areia e um balde de 18L para transporte e medidas do esterco e da palha. O traço final estabelecido pelos construtores foi o de 4:3:1,5:1, ou seja, 4 partes de terra (carrinhos de mão), 3 partes de areia (carrinhos de mão), 1,5 partes de esterco (balde) e 1 parte de palha (balde).



Figura 05: Adobe fabricado pelo Assentamento João.
Fonte: Acervo pessoal dos autores (2023).

Área de produção do adobe	No local de construção da edificação.
Coleta dos materiais	Os materiais necessários à produção do adobe foram coletados nas proximidades da obra: terra e água.
Fibras vegetais	Não foi utilizado
Esterco	Não foi utilizado
Areia	Utilizou-se areia média lavada adquirida no mercado.
Formas utilizadas	Formas metálicas nas dimensões de 30 cm x 15 cm x 9 cm.

Quadro 02: Projeto Sapê Ecológico.
Fonte: Autores.

4.3.2. Projeto Sapê Ecológico

O quadro 2 apresenta a síntese das informações referentes ao processo de produção do adobe no Projeto Sapê Ecológico.

O construtor executou a estrutura e cobertura da edificação antes da elevação das paredes. Essa sequência proporcionou uma área coberta para a produção e secagem dos adobes e o reaproveitamento da água da chuva (armazenada em caixas d'água) para sua fabricação.

A produção do barro envolveu, primeiramente, a mistura dos insumos secos (terra e areia), por conseguinte, adicionou-se a água de modo gradativo até se obter a consistência desejada. O barro foi moldado nas formas, e o adobe foi imediatamente desmoldado.

Quanto ao traço do barro, o construtor utilizou um carro de mão de 50L para medição da quantidade de terra e um balde de 18L para medição da quantidade de areia. O traço final estabelecido pelo construtor foi o de 3:1, ou seja, 3 partes de terra e 1 parte de areia em volume.

A figura 06 apresenta o adobe fabricado pelo Sapê Ecológico em processo de secagem.

4.4. Produção do custo – Composição orçamentária

Para elaborar a composição orçamentária do adobe foram considerados tanto os custos dos insumos, quanto o tempo de mão de obra e de uso de equipamentos.

O custo para fabricação da unidade de adobe foi obtido pela razão entre o custo da produção diária de adobes e a quantidade de unidades produzidas no período. Tal



Figura 06: Adobe fabricado pelo Sapê Ecológico em processo de secagem.
Fonte: Acervo pessoal dos autores (2023).

procedimento permitiu a obtenção do “preço médio”.

4.4.1. Assentamento João Amazonas

Considerando o fornecimento ininterrupto do barro, cada colaborador produz diariamente, em média, 100 adobes. O volume diário de barro necessário para preencher 100 formas corresponde a 0,34 m³. Conforme memória de cálculo: $0,275 \times 0,13 \times 0,095 \times 100 = 0,340$.

Informa-se que, em função da baixa ocupação da fibra vegetal na mistura, seu volume foi desconsiderado. Já o esterco foi considerado como “aditivo plastificante”.

Pontua-se que o esterco ocupa aproximadamente 7% do volume total do barro e a fibra vegetal porcentagem inferior. Porém, para fins de cálculo, o esterco foi computado, pois o volume deste material pode ser calculado com exatidão, ao contrário da fibra vegetal, que dentro do balde (utilizado para medição de quantidade) apresenta muitos vazios.

Com base na quantidade de barro e na proporção dos três principais materiais do traço, calculou-se o volume de terra necessário para a produção de 100 adobes (por colaborador) proveniente de escavação mecanizada (considerando o fator de empolamento do material em 30%) que corresponde a 0,23 m³.

Esclarece-se que o volume “solto” corresponde a 0,23

m3. O volume de terra necessária para produção de 100 adobes equivale a 0,18 m3. No entanto, durante o processo de escavação, o material "empola" e ocupa volume 30% superior a 0,18 m³. Sendo assim, conforme memória de cálculo tem-se: $0,18 \times 1,3 = 0,23$.

O quadro 03 apresenta os custos para escavação mecanizada com retroescavadeira e fornecimento da areia média.

Código SINAPI	Etapa	Un.	Valor Unitário (R\$)	Quantidade	Valor Total (R\$)
96521	Escav.	m ³	49,25	0,18	11,33
370	Fornec. areia	m ³	110,00	0,14	15,40
Produção diária de 100 adobes					24,27
Total por unidade de adobe (24,27 / 100 unidades)					0,24

Quadro 03: Custos para escavação mecanizada com retroescavadeira e fornecimento da areia média.
Fonte: Autores.

Reitera-se que 4 carros de mão de terra, 3 carros de mão de areia e 1,5 balde de esterco referem-se à quantidade de materiais da mistura. Para proporção, deve-se antes unificar os valores em m3, os quais representam aproximadamente 53% de terra, 40% de areia e 7% de esterco (5 para 4 para 1) ou seja, 0,18 m3 para 0,14 m3 para 0,02 m3.

Após a escavação, a terra e a areia foram transportadas por 300 metros até às proximidades do local de produção dos adobes. Considerou-se ainda, o transporte manual do material descarregado por cerca de 20 metros até o local de mistura de materiais. O esterco e a palha foram armazenados ao lado do local da mistura.

O quadro 04 apresenta os custos para transporte com caminhão, carga e descarga e transporte manual.

Explica-se que a unidade final é m3 x km. Logo, $(0,23 \text{ m}^3 \text{ de terra} + 0,14 \text{ m}^3 \text{ da areia}) \times 0,3 \text{ km} = 0,11 \text{ m}^3 \times \text{km}$.

O barro foi produzido por dois colaboradores. Pontua-se que uma única masseira rende cerca de 100 adobes. Esta masseira é produzida por 2 colaboradores em 30 minutos. Se o trabalho fosse realizado por um único colaborador, seria necessária 1 hora para produção de 100 adobes.

Os construtores relataram que não houve peneiramento do material e, considerando que o transporte dos materiais está computado no quadro 4, informa-se que os serviços aqui descritos envolvem apenas a mistura do material, hidratação e o processo de "pisa".

Código SINAPI	Etapa	Un.	Valor Unitário (R\$)	Quantidade	Valor Total (R\$)
97912	Transp. com caminhão	m ³ x km	3,52	0,11	0,39
100973	Carga e descarga	m3	9,11	0,23	2,13
100205	Transp. manual	m ³ x km	1.466,54	0,01	14,67
Produção diária de 100 adobes					17,19
Total por unidade de adobe (17,19 / 100 unidades)					0,17

Quadro 04: Custos para transporte com caminhão, carga e descarga e transporte manual.
Fonte: Autores.



Figura 07: Assentamento João Amazonas.
Fonte: Acervo pessoal dos autores.

A figura 07 mostra o processo de mistura do barro.

Durante o acompanhamento do processo, observou-se que a produção do barro ocorre durante um dia inteiro de trabalho. Dessa forma, produz-se e armazena-se o máximo possível de barro para que, no dia seguinte, a mistura seja novamente umedecida, moldada e desmoldada.

- Ou seja, 2 colaboradores produzem barro para 1600 adobes por dia.
- 2 colaboradores – 1 masseira – 100 adobes – 30 minutos
- 2 colaboradores – 2 masseiras – 200 adobes – 1 hora
- 2 colaboradores – 16 masseiras – 1600 adobes – 8 horas

O quadro 05 apresenta os custos para mistura do barro, moldagem e desmoldagem do adobe.

Com base nos custos obtidos (quadros 03, 04 e 05) para cada etapa da composição orçamentária, tem-se que o custo total para produção de 100 unidades de adobe corresponde a R\$ 234,69, já o custo por unidade equivale a R\$ 2,34.

Observou-se que a mão de obra se mostrou como o item mais relevante no custo da produção do adobe,

Código SINAPI	Etapas	Un.	Valor Unitário (R\$)	Quantidade	Valor Total (R\$)
88316	Mistura do barro	h	21,47	1,00	21,47
88316	Moldagem e desmoldagem	h	21,47	8,00	171,76
Produção diária de 100 adobes					193,23
Total por unidade de adobe (193,23 / 100 unidades)					1,93

Quadro 05: Custos para mistura, moldagem e desmoldagem do adobe.
Fonte: Autores.

correspondendo a cerca de 80% do custo final, uma vez que o processo de produção do elemento construtivo é artesanal.

4.4.2. Projeto Sapê Ecológico

De acordo com relato do construtor, considerando a disponibilidade dos insumos e a proximidade do local de produção com o de coleta de materiais, cada trabalhador em 8 horas produziu, em média, 70 adobes. O volume diário de barro estimado pelo construtor para cada trabalhador é de 0,28 m³.

Relata-se que no Sapê Ecológico não foram utilizados escavação ou transporte mecanizados de materiais. Sendo assim, considerando a dimensão da forma (30 x 15 x 9 cm), cujo volume corresponde a 0,00405m³, e a produção diária de 70 unidades de adobe, foi necessário escavar 0,21m³.

O quadro 06 apresenta os custos para escavação manual da terra e fornecimento da areia.

Código SINAPI	Etapas	Un.	Valor Unitário (R\$)	Quantidade	Valor Total (R\$)
93358	Escav. manual	m ³	84,93	0,21	17,84
370	Fornec. areia	m ³	110,00	0,07	7,70
Produção diária de 70 adobes					25,54
Total por unidade de adobe (25,54 / 70 unidades)					0,36

Quadro 06: Custos para escavação manual da terra e fornecimento da areia.
Fonte: Autores.

Uma vez que os materiais se encontram próximos ao local de produção dos adobes, calculou-se o tempo necessário para o transporte manual do material, mistura para obtenção do barro, moldagem e desmoldagem. Considerou-se 8 horas de trabalho para produção de 70 unidades de adobe. O quadro 07 apresenta o custo para mistura do barro, moldagem e desmoldagem do adobe.

Código SINAPI	Etapas	Un.	Valor Unitário (R\$)	Quantidade	Valor Total (R\$)
88316	Transporte, mistura, moldagem e desmoldagem	h	21,47	8	171,76
Produção diária de 70 adobes					171,76
Total por unidade de adobe (171,76 / 70 unidade)					2,45

Quadro 07: Custos para transporte de material, mistura do barro, moldagem e desmoldagem do adobe.
Fonte: Autores.

Com base nos custos obtidos para cada etapa da composição orçamentária, tem-se que o custo total para produção de 70 unidades de adobe corresponde a R\$ 197,61, já o custo por unidade equivale a R\$ 2,82.

Observou-se que a mão de obra representou 87% do custo final do adobe, mostrando-se superior ao percentual encontrado no Assentamento João Amazonas, em função da não mecanização para extração e transporte dos materiais e à menor produção diária por trabalhador.

O custo final, no entanto, é o mais próximo de uma produção 100% artesanal do adobe e apesar de estar intrinsecamente ligado às características do local onde foi produzido, pode ser utilizado como parâmetro para localidades com características similares à área rural onde se encontra o Sapê Ecológico.

5. CONCLUSÃO

De início é importante relatar que um dos maiores desafios quanto ao emprego do adobe na área de abrangência da pesquisa (eixo Itabuna – Ilhéus - Uruçuca, BA) foi a escassez de artesãos capacitados para a fabricação do elemento construtivo e construção das edificações. Apesar das diversas abordagens e buscas realizadas, poucos sítios de produção foram encontrados, existindo apenas em pequenas comunidades rurais ou através de artesãos e entusiastas da construção vernácula.

Em relação ao processo de fabricação do adobe, nas localidades selecionadas para coleta dos dados,

constatou-se que o procedimento se mantém vernáculo compreendendo basicamente a extração de matéria-prima local, traço elaborado de forma empírica (por experiência e observação dos construtores), mistura do barro através do pisoteio, moldagem em estado plástico em formas de madeira, desforma e secagem ao ar.

No que se refere ao custo de produção final do adobe, a coleta de dados permitiu encontrar dois valores muito próximos para o custo de produção do adobe: R\$2,34 e R\$2,82 a unidade.

Apesar do menor valor estar associado à coleta realizada no Assentamento João Amazonas, entende-se que o valor correspondente a R\$ 2,82, encontrado no Projeto Sapê Ecológico, representa maior facilidade de reprodução, uma vez que equipamentos mecanizados (tratores, escavadeiras, caminhões etc.) não foram utilizados durante o processo de fabricação do adobe. Aspecto que potencializa a repetição de produção em outros locais.

O valor correspondente a R\$ 2,82 inclui os materiais necessários para fabricação do adobe, além dos encargos sociais e salário dos trabalhadores segundo valores de mercado, sendo por esse motivo um patamar que pode ser utilizado como base não só para a sua fabricação como a comercialização do produto.

No que tange à viabilidade, com base no estudo realizado, a produção do adobe, em seu caráter artesanal, mostra-se aproximadamente três vezes superior ao valor do bloco cerâmico no mercado, atualmente cotado em R\$ 0,80 centavos a unidade.

Porém, o custo-benefício ambiental de uma técnica construtiva deve considerar fatores além da comparação de custo e mercado. Haja vista a industrialização ser um processo que tende a reduzir o valor final de um produto (RIBEIRO, 2017). Além disso, considera-se que a disponibilidade de recursos, condições climáticas e fatores socioculturais podem influenciar na escolha de uma técnica construtiva em detrimento de outra.

Por fim, o estudo realizado possibilita auxiliar a formação do preço de venda do adobe, tanto para a localidade rural, onde se encontra o Assentamento João Amazonas, quanto para o Projeto Sapê Ecológico, caso se mantenham as condições de produção, já que o custo para fabricação do elemento construtivo arca com os custos de materiais e honorários dos envolvidos na produção. Abre-se, dessa forma, possibilidades inovadoras e eficazes para se constituir fonte de renda para comunidades ou artesãos.

REFERENCES

BENGHIDA, D. Adobe Bricks: The Best Eco-Friendly Building Material. **Advanced Materials Research**, v. 1105, p. 386-390, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1105.386>

BRAGA, S. L. A. **Arquitetura Vernácula: Registro e análise do uso do adobe em Lapinha da Serra, Santana do Riacho, Minas Gerais**. 93fl. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

CAMARGO, F. C.; MOLINA, S. G.; RUIZ, M. N. Possibilidades de uso do adobe como material construtivo: proposta de edificação voltada para o curso de Arquitetura e Urbanismo nas dependências da FAIT. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Sociais Aplicadas da FAIT**, n. 1, p. 1 – 19, 2022.

CARVALHO, G.; HEGYI, A.; DICO, C.; MIRCEA, C. Determining the Optimum Addition of Vegetable Materials in Adobe Bricks. **Procedia Technology**, n. 22, p. 259-265, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.077>

CARVALHO, R. M. **Soluções para a construção de habitação em adobe a custos controlados**. 150fl. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2012.

COSTA, C.; ARDUIN, D.; ROCHA, F.; VELOSA, A. Adobe Blocks in the Center of Portugal: Main Characteristics. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 15, n. 03, p. 467-478, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1627442>

COSTA, C.; CERQUEIRA, A.; ROCHA, F.; VELOSA, A. The sustainability of adobe construction: past to future. **International Journal of Architectural Heritage**, v.13, n.19, p. 639-647, 2019. DOI: [10.1080/15583058.2018.1459954](https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1459954)

DE JESUS, C. C.; BUONICONTRO, L. M. S.; COSTA, S. K. Avaliação preliminar comparativa de materiais utilizados para construção de Habitações de Interesse Social na Costa do Cacau, BA. **Gaia Scientia**, v. 14, n. 02, p.12-26, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2020v14n2.46439>

FERREIRA, M. dos S. **Caracterização da construção com terra da região de Leiria: contributo para a sua conservação**. 178fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2017.

FJP. **Déficit habitacional no Brasil 2016-2019**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 2021.

GUBASHEVA, S. **Adobe bricks as a building material**. 50fl. Tese (Doutorado em Concreto e Estruturas) - Czech Technical University in Prague: Faculty of Civil Engineering, Prague, 2017.

HEGYI, A.; DICO, C.; CĂLĂȚAN, G. Construction sustainability with adobe bricks type elements. **Construcții**, v. 07, n. 02, p. 147-156, 2016.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2022. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em janeiro de 2023.

INRC. **Inventário Nacional de Referências Culturais. Brasília**, DF: Departamento de Identificação e Documentação do Ministério da Cultura, 2022.

KAMAL, R.; RAHMAN, S. A study on feasibility of super adobe technology – an energy efficient building system using natural resources in Bangladesh. **Earth and Environmental Science**, v. 143, p. 1-17, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/143/1/012043>

MARQUES, T. R. **Análise comparativa de viabilidade econômica entre habitação de interesse social construída com adobe e com blocos de tijolos cerâmico**. 58fl. Monografia (Especialização em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau de Ferro, 2017.

MATOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos**. São Paulo: PINI, 2008.

MAURICIO, A. C.; GRIESELER, R.; HELLER, A. KELLEY, A. R.; RUMICHE, F.; SANDWEISS, D. H.; VIVEEN, W. The earliest adobe monumental architecture in the Americas. **PNAS**, v. 118, n. 48, p. 1-11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2102941118>

MINAIO, M. C. de S.; DESLANDES, S. F.; GOMES, R. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis, RJ: Editora Vozes, 2016.

MOLINA, V.; ANGUMBA, P. Costing, Adobe Technique as a Sustainable Construction System in the City of Cuenca. **WMCAUS**, n. 1203, p. 1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1203/3/032115>

MOREIRA, C. M. do A.; MOTA, A. C. de G. D.; ELIAN, M.; YAMAMOTO, T.; LASALVIA, A. F. M. Técnica de fabricação de adobe em oficina artesanal a partir de vídeo documental: um exemplo em Portugal e outro no Brasil. **AVANCA, CINEMA**, p. 256 – 261, 2020. DOI: <https://doi.org/10.37390/avancacinema.2020.a123>

OLIVEIRA, W. P.; SILVA, M. A. V.; SOUZA, S. A.; SANTANA, C. C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. do R. Caracterização da variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica do Centro Sul Baiano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, 2017. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.4.p1143-1151>

PEREIRA, J. H. de S.; COSTA, S. K. Análise da interação ecossistêmica em ecovilas localizadas no eixo Uruçuca – Itacaré, Estado da Bahia. **Mix Sustentável**, v. 8, n. 4, p. 107-118, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n4.p107-118>

PEREIRA, D. A. de M.; PEREIRA, M. S.; OLIVEIRA, R. S. dos S.; MELO, A. B.; CAVALCANTE, A. L. Projeto de uma bioalvenaria de vedação a partir de terra crua: o caso do tijolo de adobe. **Revista Saúde & Ciência online**, v. 3, n. 3, p. 64-75, 2014.

PINO, J. F. de J.; HERRERA, N. M. S.; PEÑARANDA, C. A. M. Elaboración de adobe sostenible. DAYA. **Diseño, Arte y Arquitectura**, n. 11, p. 59-79, 2021.

RIBEIRO, M. de S. **Contabilidade ambiental**. São Paulo: Editora Saraiva, 2017.

SANTOS, D. P.; BESSA, S. A. L. O uso do adobe no Brasil: uma revisão de literatura. **Mix Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 53-66, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n1.53-66>

SOGLIO, C. R. D. **Comportamento higratérmico de ambientes internos com paredes em adobe: Estudo**

de caso em edificação residencial em Florianópolis/SC. 150fl. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina: Centro Tecnológico, Florianópolis, 2019.

SOUZA, L. R. dos S.; SANTOS, V. R. dos.; COSTA, S. K. Bioconstrução Coletiva na Aldeia Itapoã Tupinambá de Olivença, Ilhéus, BA, Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v. 11, n. 03, p. 1-11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v11i3.1768>

TISAKA, M. **Orçamento na Construção Civil: Consultoria, Projeto e Execução.** São Paulo: PINI, 2011.

TOMASI, J.; BELLMANN, L. Adobe. **Estructuras**, v. 1, n. 2, p. 18-27, 2018.

VALIN JUNIOR, M de O.; RIBEIRO JUNIOR, I.; SARAIVA, F. E. M. Caracterização do solo utilizado em alvenaria de taipa e adobe para restauração do patrimônio histórico. **Engineering Sciences**, v. 8, n. 3, p. 19-38, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2020.003.0003>

VOLONNINO, D. T. P.; WILLIAMS, C.; SOUSA, L.; GOMES, G. A. C.; PARON, M. E. Técnicas de bioconstrução: tijolos de adobe no IFSP campus São Roque. **Scientia Vitae**, v. 2, n. 5, p. 60-62, 2014.

AUTHORS

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8626-3746>

LUIZ EDUARDO SOUZA DA SILVA, MESTRE EM BIODIVERSIDADE | Universidade Federal do Sul da Bahia | Programa de Pós-Graduação em Biosistemas | Itabuna, BA - Brasil | Correspondência para: Praça José Bastos, s/n - Centro, Itabuna - BA, 45600-923 | E-mail: luiz.silva@ufsb.edu.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2191-3365>

SILVIA KIMO COSTA, DOUTORA EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE | Universidade Federal do Sul da Bahia | Programa de Pós-Graduação em Biosistemas | Itabuna, BA - Brasil | Correspondência para: Praça José Bastos, s/n - Centro, Itabuna - BA, 45600-923 | E-mail: skcosta@ufsb.edu.br.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

SILVA, Luiz Eduardo da; COSTA, Silvia Kimo. MIX Sustentável, v. 9, n. 10, p. 137-149, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/>

mixsustentavel>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.137-149>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.137-149).

SUBMETIDO EM: 06/08/2023

ACEITO EM: 20/12/2023

PUBLICADO EM: 11/04/2024

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRediT Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

LESS: conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, administração de projetos, supervisão, validação, visualização, escrita - rascunho original.

SKC: conceituação, análise formal, investigação, metodologia, administração de projetos, supervisão, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão & edição.

Conflict of interest: nothing has been declared.

A PREMISSA DE SUSTENTABILIDADE DOS DIAMANTES SINTÉTICOS

THE SUSTAINABILITY'S PREMISE OF SYNTHETIC DIAMONDS

LA PREMISA DE SOSTENIBILIDAD DE LOS DIAMANTES SINTÉTICOS

PAULINA HELENA ZANLUCHI MIOR, Msc. | UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

JOCELISE JACQUES DE JACQUES, Dra. | UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

LAUREN DA CUNHA DUARTE, Dra. | UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

RESUMO

O diamante é um mineral imprescindível na sociedade contemporânea, seja por seu uso prático na indústria ou simbólico na joalheria. Desta forma, há uma constante demanda, parcialmente suprida pelos diamantes sintéticos. Com a necessidade de ponderar acerca de atributos de sustentabilidade comentados pela mídia, neste estudo busca-se discutir se o diamante sintético pode ser considerado ambientalmente amigável. O estudo foi realizado por meio de revisão de literatura com objetivo de analisar os insumos utilizados na síntese do material, bem como, na padronização dos recursos utilizados no processo em diferentes localidades do mundo. Conforme estes critérios o diamante sintético não pode ainda ser caracterizado como um produto verde, devido à carência de transparência do seu processo produtivo e divulgação de pesquisas acadêmicas relacionadas ao tema.

PALAVRAS CHAVE

Diamante. Diamante sintético. Sustentabilidade ambiental. Design e tecnologia.

ABSTRACT

Diamond is an essential mineral in contemporary society, whether for its practical use in industry or symbolic use in jewellery. Within that, there is a constant demand, partially supplied by synthetic diamonds. With the need to ponder sustainability attributes commented on by the media, this study seeks to understand whether synthetic diamonds can be considered environmentally friendly. The study was carried out through a literature review to analyse the inputs used in the synthesis and as the standardization of the resources used in the process in different locations globally. According to these criteria, synthetic diamonds cannot yet be characterized as a green product due to the lack of transparency in its production process and dissemination of academic research related to the topic.

KEY WORDS

Diamond. Synthetic diamond. Environmental sustainability. Design and Technology.

RESUMEN

El diamante es un mineral esencial en la sociedad contemporánea, ya sea por su uso práctico en la industria o su uso simbólico en joyería. Debido a esto, existe una demanda constante de los mismos, parcialmente satisfecha por los diamantes sintéticos. Con la necesidad de considerar atributos de sostenibilidad comentados por los medios, este estudio busca comprender si los diamantes sintéticos pueden considerarse amigables con el medio ambiente. El estudio se realizó mediante una revisión de la literatura para analizar los insumos utilizados en la síntesis y la estandarización de los recursos utilizados en el proceso en diferentes lugares a nivel mundial. Según estos criterios, los diamantes sintéticos todavía no



pueden ser caracterizados como un producto ecológico debido a la falta de transparencia en su proceso de producción y la difusión de investigaciones académicas sobre el tema.

PALABRAS CLAVE

Diamante. Diamante sintético. Sostenibilidad ambiental. Diseño e tecnología.

1. INTRODUÇÃO

O diamante tem uma de suas utilizações na indústria e outra como gema na produção de joias, onde, segundo a De Beers (2021), a demanda global por joias com diamantes foi avaliada em US\$68 bilhões no ano de 2020. Frente a essa relevância econômica, o presente trabalho trata de um estudo acerca do diamante sintético; uma alternativa que, desde a sua produção massificada, vem ganhando popularidade como alternativa ambientalmente amigável ao diamante natural.

Para isso, abordam-se os dois processos de produção do diamante (HPHT - High Pressure High Temperature e CVD - Chemical Vapor Deposition) e seus impactos ambientais. Destaca-se aqui que produto verde, como supõe-se que possa ser o diamante sintético, é um produto que contempla alguma melhoria, em quesitos de impacto ambiental, em relação à sua versão equivalente produzida dentro que um contexto convencional (D'SOUZA ET AL., 2007)

Tem-se, como objetivo geral neste artigo, compreender se é possível designar essa gema sintética como sustentável, focando no que diz respeito ao aspecto ambiental da produção de diamante sintético. A pesquisa tem como procedimento técnico a revisão bibliográfica, utilizando publicações datadas majoritariamente da última década. O material consultado é referente a publicações de periódicos acadêmicos, encontrados por meio de buscas com termos diversos no Google Acadêmico e dentro da publicação *Gems & Gemology*, bem como jornais e relatórios divulgados por empresas do setor de joalheria.

Além das buscas mencionadas, as bases consultadas dentro da presente pesquisa incluem Science direct, Scopus e Web of Science, vinculadas à CAPES. Para a pesquisa foram utilizados os termos "synthetic diamond" AND sustainab* ("diamante sintético" E sustenta*, em inglês). Foram encontrados, respectivamente, 28, 14 e 6 publicações, onde apenas uma apresentava relação com o assunto pretendido, sendo encontrada duplamente. Torna-se relevante mencionar que os estudos publicados são, de forma geral, referentes ao uso do diamante sintético para utilização industrial, não explorando o aspecto de sustentabilidade do material.

Nos textos estudados trata-se das formas de produção de diamantes ou sobre as questões de sustentabilidade, entre elas, especialmente, o consumo de energia e de outros recursos. O enfoque está no diamante sintético, entretanto, também são apresentadas comparações entre o diamante sintético e o natural, tendo em vista a natureza

das informações coletadas nos materiais analisados.

2. DIAMANTE SINTÉTICO

O diamante é definido como a única gema composta de apenas um elemento, o carbono (AREM, 1987). Esse mineral pertence ao sistema cúbico, isótropo, possuindo as mesmas propriedades físicas ou ópticas em todas as direções do cristal. Além disso, o diamante é o material de maior dureza - ou seja, não bem um material resiste à abrasão - possuindo uma dureza 10 na Escala Mohs. essa gema é 58 vezes mais resistente do que qualquer outro material na natureza, por conta de disposição dos átomos de carbono (AREM, 1987; GEMOLOGICAL INSTITUTE OF AMERICA, 2019).

O diamante sintético, por sua vez, é a versão elaborada artificialmente do diamante natural (ALI, 2016). Referente aos termos em inglês, o diamante sintético muitas vezes é também chamado de man-made diamond (diamante feito pelo homem) ou laboratory-grown Diamond e lab-grown diamond (diamante feito/criado em laboratório (ALI, 2016; BAGATHI ET AL., 2021),

Quanto às características desse mineral e suas aplicações, o Gemological Institute of America (2019, p.?) descreve que as propriedades de dureza, alta condutividade térmica, transparência óptica e alta resistência elétrica do diamante o tornam especialmente adequado para muitas aplicações de alta tecnologia. Complementando essa afirmação, Wang (2020) afirma que o diamante é fundamental para a industrialização, contribuindo para o valor desse mineral em diversos âmbitos sociais e tecnológicos.

Além da utilização na joalheria, o diamante possui aplicações industriais, em virtude a isso, Sauer (s/d, p. 156-157) aponta que, por conta da sua dureza e resistência altíssima, é constante a utilização do diamante na indústria, em maquinário pesado - porém, apesar da sua importância nesse setor, o seu grande potencial está associado à indústria de tecnologia digital, como em supercomputadores, semicondutores especiais, em experimentos de aceleradores de partículas, fotodetectores, janelas transparentes e protetoras para naves e sondas espaciais.

As características gerais citadas fazem parte do diamante, independentemente da forma como ele é obtido, seja por mineração, ou, por processos de síntese (GEMOLOGICAL INSTITUTE OF AMERICA, 2019). Entre esses processos, encontram-se duas opções: High Pressure High Temperature - HPHT (Alta pressão Alta temperatura) e Chemical Vapor Deposition - CVD (Deposição de Vapor Químico), que serão descritos nas próximas seções (figura 1).



Figura 1: Diamantes CVD (A) e HPHT (B)

Fonte: Adaptado de Eaton-Magaña e Breeding 2018.

2.2 Processos de Produção

Os diamantes de alta pressão e alta temperatura (HPHT, na sigla em inglês), de acordo com Shigley (2016), são produzidos em laboratório, replicando as condições de formação dos diamantes naturais, situando-se como o método mais popular (ZHDANOV ET AL., 2021). Jason Payne (in ABRAM, 2019) comenta que, neste processo, as altas pressões e temperaturas criam um ambiente onde o carbono cristaliza-se em forma de diamante (figura 2).

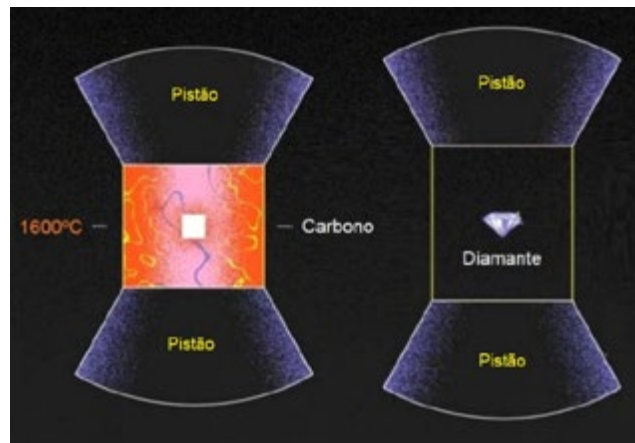


Figura 2: Ilustração do processo HPHT

Fonte: Adaptado de Abram, 2019.

Para Shigley (2016), a temperatura utilizada está entre 1300 e 1600°C, com uma pressão acima de 870.000 lbf/in², resultando em um mineral cujo formato é de um cubo-octaedro, sendo que o hábito mais comum na natureza é o octaedro (figura 3).

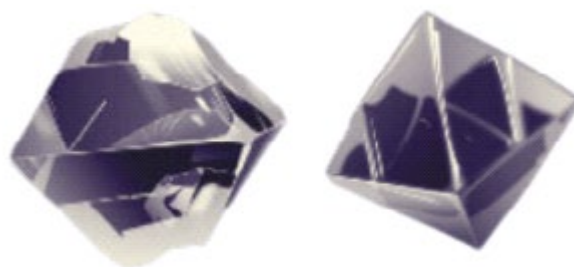


Figura 3: Diamante bruto em hábito cubo-octaédrico e octaédrico

Fonte: Adaptado de Gemological Institute of America, 2019.

Para a produção de um diamante por meio de deposição química de vapor (CVD na sigla em inglês), é necessária "a quebra de moléculas de um gás rico em átomos de carbono e hidrogênio que, então, são depositados em 'sementes' de diamante" (SHOR, 2019; PAYNE, 2019). Apesar da existência de diversos gases à base de carbono, a fonte clássica de carbono em CVD é o metano (Zhdanov et al., 2021). Dessa forma, o metano é a fonte de átomos de carbono, que são colocados com a ajuda do hidrogênio atômico dentro da zona de reação (figura 4). Shor (2019) comenta que, a partir desse processo, é produzido um cristal de diamante tubular.

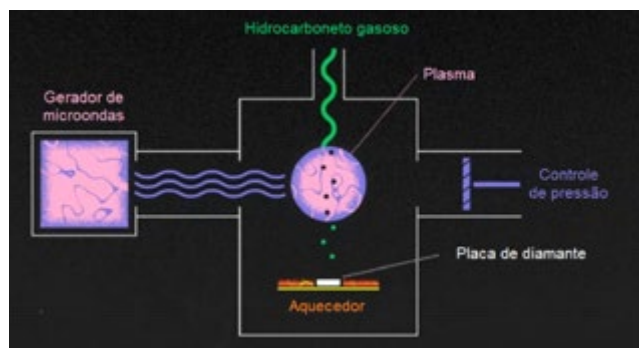


Figura 4: Ilustração do processo CVD.

Fonte: Adaptado de Abram, 2019.

Além dos formatos, existem outras diferenças entre os diamantes resultantes desses processos: o HPHT costuma gerar diamantes maiores e com cor, enquanto “o processo CVD resulta em diamantes menores, mais puros e incolores” (BAGATHI ET AL., 2021, p. 236). Payne (2019 in ABRAM, 2019) complementa colocando os diamantes feitos por CVD como, de maior qualidade. A partir de ambos os processos, são ponderadas diferentes questões de impacto ambiental, levando em conta os materiais utilizados e o consumo de recursos naturais.

3. DIAMANTES E SUSTENTABILIDADE

A sustentabilidade, refere-se ao equilíbrio entre sociedade, capital natural e economia, sendo, muitas vezes, um conceito “não mensurável, ambíguo e global no contexto” (WASEEM e KOTA, 2017, p.368). Focando no setor de gemas, Alonso-Perez (2020) comenta que um dos pontos cruciais é tratar sobre práticas sustentáveis, especialmente o impacto ambiental. Segundo a pesquisadora, a sustentabilidade propriamente dita não existe, uma vez que estima-se que já foram extraídos 75% dos recursos naturais do planeta, que são finitos.

Quanto às ações sustentáveis, são propostas formas de melhoramento de processo e alternativas de produtos, para alcançar um “produto verde”, o qual representa uma conquista significativa na redução do impacto ambiental, (D’SOUZA ET AL., 2007).

O Grupo De Beers (2021) e o Grupo Pandora (s/d) apontam o crescimento do engajamento do consumidor com os tópicos de sustentabilidade de forma universal. Na joalheria, de acordo com o material divulgado por ambos os grupos, essa preocupação está especialmente direcionada à cadeia de produção de diamantes.

Os danos ambientais, bem como as violações de direitos humanos relacionados à extração de diamantes, vieram

à tona no final dos anos 1990, e resultaram no cunho do termo “diamantes de sangue” (ALI, 2016; BAGATHI ET AL., 2021). Como uma forma de combate a esses problemas, o conselho das Nações Unidas criou o Kimberley Process, em 2003.

Este órgão opera sobre um regime multilateral de comércio com o objetivo de impedir o fluxo de “diamantes de zonas de conflito”, aqueles que “são comercializados ilícitamente para financiar os combates armados, a partir da certificação de diamantes brutos” (KIMBERLEY PROCESS, s/d). Apesar de sua importância, essa certificação possui a sua parcela de críticas. Segundo Freedman (2022), um exemplo contemporâneo é a falta de discussão sobre os diamantes minerados na Rússia, considerando o conflito vigente entre o país e a Ucrânia.

Em relação ao Brasil, de acordo com o próprio órgão, após 2004, ano em que o governo brasileiro aprovou uma legislação suspendendo a exploração mineral e controlando a atividade de mineração em terras indígenas, a certificação deixou de incluir diamantes explorados nessas áreas.

Apesar da solução proposta para as empresas de mineração, Webb (2021) relata que o diamante sintético vem ganhando popularidade com a premissa de ser uma alternativa verde. Beckett (2022) relata que essa ideia do diamante sintético como sustentável pode ser visto em propagandas na mídia.

Periódicos brasileiros de moda e beleza, de caráter publicitário, descrevem os diamantes sintéticos como “uma resposta sustentável e tecnológica para uma clientela preocupada” (SOTOCÓRNO, 2022), apesar de não apresentarem dados suficientes para sustentar tal afirmação. Além de texto, imagens, como de Yahn (2022), também retratam uma comparação entre as cadeias de produção de diamantes minerados e sintéticos que criam a possibilidade de uma interpretação errônea.

Da mesma forma que há um aumento na busca por diamantes sintéticos, também há um aumento da preocupação com o seu impacto ambiental, sendo que um dos principais pilares a ser considerado é o consumo de energia. Frente a esse quesito, Ali (2016) indica a dificuldade de uma análise efetiva, tendo em vista que os dados variam consideravelmente, assim como a matriz energética utilizada por cada país produtor de diamantes sintéticos não ser a mesma.

Bagathi et al. (2021), por sua vez, afirmam que, muitas vezes, há a alegação de que a energia utilizada para produzir diamantes é proveniente de fontes renováveis, contudo, isto não é necessariamente verídico ao analisar-se o

consumo de energia dos países produtores de diamantes sintéticos.

Um exemplo de utilização de energia não-renovável vem da China, citado por Zhdanov et al. (2021), o maior país produtor de diamantes sintéticos do mundo, responsável por uma parcela de quase 50% da produção internacional.

Naquele país, a energia proveniente da queima de carvão é responsável por 56,8% da matriz energética, situando-se como o maior emissor de dióxido de carbono do mundo (CHENG, 2021). Segundo Wang (2020), o país asiático opera com um total aproximado de 600 empresas, onde foi produzida uma média de 4 mil toneladas de diamante industrial entre 2010 e 2019, pelo método HPHT (figura 6).



Figura 6: Fábrica de diamantes do tipo HPHT na China.

Fonte: Wang, 2020.

Pela presença de processos mecânicos, tanto na síntese por HPHT, quanto por CVD, há a utilização de energia constante; gasto esse, que também ocorre para a fabricação das peças utilizadas para a construção das máquinas, assim como para o processo de síntese dos diamantes. Ali (2016) relata que comparações entre as emissões de carbono para diamantes naturais e sintéticos podem ser errôneas, uma vez que não há a divulgação da quantidade de peças utilizadas e descartadas e do material bruto utilizado para o desenvolvimento dos diamantes. Além disso, a análise do ciclo de vida dos itens a serem utilizados varia de acordo com o material em que o item é fabricado, impactando assim na sustentabilidade do produto.

Essa falta de clareza acerca do processo é apontada por Beckett (2022), ao relatar sobre a substituição do diamante natural pelo diamante sintético em peças da marca Pandora, a maior joalheria do mundo em termos de volume. O Grupo Pandora (s/d) afirma que os diamantes sintéticos utilizados pela empresa são produzidos e lapidados utilizando 100% de energia renovável e correspondem a uma pegada de carbono de apenas 5% do total produzido por um diamante minerado.

Josephs (2021) menciona que os diamantes têm a Grã-Bretanha como o seu local de produção; porém, apesar disso, o grupo Pandora não divulgou detalhes sobre o seu fornecedor e não deu informações aprofundadas sobre quais os dados utilizados como base e referência para as informações divulgadas. Além das propagandas mencionadas anteriormente, embalagens ou certificados de peças de marcas, como a própria Pandora, também apontam o diamante sintético como um produto sustentável (figura 7).



Figura 7: Certificado de diamante Pandora.

Fonte: The art of Pandora, s/d.

Além do quesito energia, os materiais são importantes nesta análise de impacto ambiental. Ali (2016) comenta que, uma vez que os detalhes acerca dos processos de produção não são de conhecimento público, não é possível delimitar, com exatidão, quais as matérias-primas utilizadas e o seu impacto individual. Em uma pesquisa realizada em 03 de outubro de 2023, na plataforma Google Patents, foram encontrados 94 resultados para o termo "(synthetic diamond) TI=(laboratory grown diamond)". As patentes listadas incluíam uma variedade de métodos para o cultivo e identificação de diamantes.

Entre os possíveis materiais utilizados como catalisadores dos processos de síntese do diamante, Ali (2016) cita a platina. De acordo com informações presentes no programa Ansys Granta EduPack (2022), a platina possui uma alta pegada de carbono, sendo apenas cerca de 40% proveniente de material reciclado. No setor de joalheria, para Garside (2022) a estimativa é que 10 mil kg de platina sejam reciclados mundialmente em 2022. Ademais, a obtenção desse e de outros metais ocorre por meio da mineração, não excluindo completamente esse processo na obtenção dos diamantes sintéticos.

Assim como há o consumo de energia e materiais, há o consumo de água. Zhdanov et al. (2021, p.9) indica o uso de água no processo de HPHT como item essencial para o resfriamento das máquinas. Já, no processo de CVD, a água também pode ser utilizada como fonte de hidrogênio. Considerando o resfriamento, a água também possui diferentes parâmetros

de consumo, podendo variar grandemente dentro do mesmo tipo de processo de produção - uma vez que “métodos de circuito fechado consomem aproximadamente o dobro da quantidade de energia”, em comparação com contrapartidas de circuito aberto (ZHDANOV ET AL., 2021).

Em uma comparação entre o consumo médio de recursos como energia e de água, é possível verificar uma grande diferença ainda dentro do mesmo processo (tabela 1). No estudo apresentado por Zhdanov et al. (2021, p.9), máquinas utilizadas no processo de HPHT, onde são utilizados circuitos de refrigeração abertos, a média de consumo varia entre 28 e 36 kWh/ct, sendo que a medida de 1ct (quilate) é igual a 0,2 g.

Método	Empresa	Energia (kWh/ct)	Água (m ³ /ct)
Mineração	ALROSA	96	0,077
	DeBeers	150	Não analisado
HPHT	“850-press”	36	~0
	Apollo Diamonds	28	~0
CVD	Zhdanov et al	215	0,002
	Ila Tech	77	Não analisado
	Ekati	143	Não analisado

Tabela 1: Consumo médio de energia e água por 1ct de diamantes.

Fonte: Adaptado de Zhdanov et al., 2021, p. 9.

Nos processos de CVD, apontados por Zhdanov et al. (2021, p.9), há uma variação muito mais expressiva, estabelecendo-se nos valores de 77, 143 e 215 kWh/ct. Por fim, ao serem analisadas empresas de mineração, a energia utilizada é de cerca de 96 e 150 kWh/ct. No que se refere aos dados de consumo de água, os métodos HPHT e CVD apresentaram um valor de aproximadamente 0 e 0,002 m³/ct, onde a empresa de mineração ALROSA relatou um consumo de 0,077 m³/ct.

Como supracitado, é necessário levar em consideração a forma como a energia utilizada é gerada. De acordo com Zhdanov et al. (2021, p.9), no caso da ALROSA, a energia é gerada em hidrelétricas, tomando-se como base os dados relativos ao relatório da empresa do ano de 2018.

É importante considerar ainda que, como relatado por Zhdanov et al. (2021, p.9), dentro das próprias companhias, há uma grande diferença no consumo de recursos de minas e empresas de síntese, muitas vezes ditados pelo tipo de clima do país onde ocorre a produção dos diamantes. Segundo Garside (2021), a lista de países com maior participação na produção de diamante sintético incluía, além da China, a Índia, os

EUA, Singapura, países variados da Europa e Oriente Médio (não nomeados) e a Rússia.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diamante fez, e segue fazendo, parte da sociedade como importante componente de ferramentas industriais e de símbolos culturais, materializados por meio de joias. A demanda pelo mineral hoje é, em parte, suprida por diamantes fabricados, o qual reforça questionamentos acerca da sustentabilidade que, em concordância com a De Beers (2021) e a organização Kimberley Process (s/d), vêm sendo veementemente levantados pelos consumidores e população geral.

Frente a isso, a partir dos dados trazidos pela literatura, não é possível considerar que o diamante sintético é ambientalmente amigável sem a verificação de informações sobre fonte e consumo de materiais, água e energia. A impossibilidade se dá levando em consideração a inviabilidade de definição, tanto dos materiais, quanto de todos os mecanismos utilizados para ambos os principais processos de sintetização de diamantes. Essa problemática agrava-se, ainda, dada a falta de uniformização da própria produção daquilo que é utilizado, variando imensamente entre países.

Além da lacuna de informações sobre os métodos de produção e muito do que os engloba, pode-se considerar que o diamante sintético falha em alguns aspectos básicos para ser considerado sustentável, a partir do que é definido por Waseem e Kota (2017). Como mencionado por Ali (2016), isso ocorre, uma vez que, apesar da redução de elementos imprescindíveis para obtenção do diamante natural - em especial a mineração, por seu impacto social e ambiental - no diamante sintético ainda se utiliza esse mesmo procedimento para ter acesso a materiais inerentes a sua fabricação.

Autores como Bagathi et al. (2021) concluem que o diamante sintético é sustentável tendo como vista a questão ética relacionada à mineração dos diamantes naturais e o possível financiamento de conflitos por meio deles. Entretanto, como já mencionado, considerando a utilização da mineração para a produção de catalisadores dos métodos de síntese, esses problemas não se afastam das versões fabricadas de diamante, assim como exposto por Ali (2016).

Já, considerando a drástica diferença entre os processos de mineração e de síntese, no que tange somente ao consumo de água e energia elétrica, pode-se considerar o diamante sintético como um produto verde. Isso se dá

pela diminuição da quantidade desses recursos utilizados em comparação com o processo tradicional de obtenção de diamantes.

Dessa forma, a sintetização de diamantes ainda está sujeita a uma extensa gama de melhorias para tornar-se pertencente à ampla definição de sustentável. Assim, as empresas interessadas em agregar valor ao produto diamante sintético devem prover informações claras sobre seus processos produtivos, fazendo-se transparentes aos seus consumidores.

REFERÊNCIAS

ABRAM, Cleo. **Explained: Diamonds**. S02 E10. Vox & Netflix Worldwide entertainment: 2019.

ALI, Saleem. **The ecology of diamond sourcing: from mined to synthetic gems as a sustainable transition**. Journal of Bioeconomics. Springer, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10818-016-9241-8/>

ALONSO-PEREZ, Raquel. **The Sustainability Minefield**. GIA Knowledge Sessions Webinar Series. Carlsbad: Gemological Institute of America, 2020. Disponível em: <https://youtu.be/hofDOPqh9U/> Acesso em 23 de maio de 2022.

AREM, Joel. **Encyclopedia of Gemstones**. New York, Van Nostrand Reinhold Company Inc, 1987.

ANSYS GRANTA EDUPACK. **Metais nobres**. Acesso em 31 de agosto de 2022.

BAGATHI, Anil Kumar; BALAGTAS, Carmelo; BOPANA, Sai Vijay Kumar; COSTE-MANIÈRE, Ivan; VINCENT, Florent; LE TROQUER, François; BOYER, Gérard. **Lab-Grown Diamond - The Shape of Tomorrow's Jewelry**. Singapore: Springer, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-16-2454-4_11/

BECKETT, Kathleen. **Pandora's New Collection: No Charms**. The New York Times. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2022/11/21/fashion/jewelry-pandora-lab-grown-diamonds-copenhagen>. Acesso em 10 de dezembro de 2022.

EATON-MAGAÑA, Sally; BREEDING, Christopher. Features of Synthetic Diamonds. **Gems & Gemology**, Summer Vol. 54, No. 2. Carlsbad:

Gemological Institute of America, 2018. Disponível em: <https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2018-features-of-synthetic-diamonds/> CHENG, Evelyn. **China has 'no other choice' but to rely on coal power for now, official says**. CNBC, 2021. Disponível em: <https://www.cnbc.com/2021/04/29/climate-china-has-no-other-choice-but-to-rely-on-coal-power-for-now.html> Acesso em 27 de junho de 2022.

DE BEERS. Sustainability: Shaping the Future of the Diamond Sector. **Diamond insight report**. De Beers Group, 2021. Disponível em: <https://www.debeers-group.com/~media/Files/D/De-Beers-Group-V2/documents/reports/insights/2021/2021-the-diamond-insight-report.pdf> Acesso em 11 de julho de 2022.

D'SOUZA, C.; Taghian, M., R. Khosla. Examination of environmental beliefs and its impact on the influence of price, quality and demographic characteristics with respect to green purchase intention. **Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing**, Vol. 15. N.2, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jt.5750039/>

FREEDMAN, Joshua. **Kimberley Process rejects efforts to put russia on agenda**. Rapapot, 2022. Disponível em: <https://www.diamonds.net/News/NewsItem.aspx?ArticleID=69212&ArticleTitle=Kimberley+Process+Rejects+Efforts+to+Put+Russia+on+Agenda>. Acesso em 19 de maio de 2023.

GARSIDE, M. **Lab-grown diamond production worldwide in 2020, by region** Statista, 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1204042/global-lab-grown-diamond-production-by-region/> Acesso em 16 de maio de 2023.

GARSIDE, M. **Recycled platinum worldwide from 2010 to 2022, by former use**. Statista, 2022. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/593072/platinum-recycled-worldwide-by-former-use/> Acesso em 31 de agosto de 2022.

GEMOLOGICAL INSTITUTE OF AMERICA. **Laboratory-grown Diamond** [Material de didático do curso Diamond & Diamond grading, lecionado no GIA]. Carlsbad: GIA, 2019.

JOSEPHS, Jonathan. **Pandora says laboratory-made**

diamonds are forever. BBC News. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/business-56972562>. Acesso em 17 de maio de 2023.

KIMBERLEY PROCESS. **What is the Kimberley Process?** Disponível em: <https://www.kimberleyprocess.com/en/what-kp>. Acesso em 15 de junho de 2022.

KIMBERLEY PROCESS. **Report of the review visit to Brazil.** 2006. Disponível em: https://www.kimberleyprocess.com/en/system/files/documents/2006%20Brazil%20Review%20visit%20report_0.pdf. Acesso em 17 de junho de 2022.

PANDORA. **Pandora Brilliance** – information on sustainability. Pandora Group.

SAUER, Jules Roger. **As eras do diamante.**

SHIGLEY, James. **HPHT and CVD Diamond Growth Processes: Making Lab-Grown Diamonds.** Gemological Institute of America, 2016. Disponível em: <https://www.gia.edu/hpht-and-cvd-diamond-growth-processes>. 15 de maio de 2022.

SHOR, Russell. **Is There a Difference Between Natural and Laboratory-Grown Diamonds?** Carlsbad: Gemological Institute of America, 2019. Disponível em: <https://www.gia.edu/gia-news-research/difference-between-natural-laboratory-grown-diamonds>. Acesso em 30 de maio de 2022.

SOTOCÓRNO, Vivian. **Tudo que você precisa saber sobre diamantes de laboratório.** Vogue Brasil. Disponível em: <https://vogue.globo.com/moda/noticia/2022/11/tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-diamantes-de-laboratorio.ghtml> Acesso em 24 de maio de 2023.

THE ART OF PANDORA. **Pandora Brilliance 0.25 Carat 14k Gold Open Bangle.** Disponível em: <https://theartofpanorama.com/review-pandora-brilliance-0-25-carat-14k-gold-open-bangle/> Acesso em 20 de maio de 2023.

WANG, Wuyi. **Laboratory-Grown Diamonds from China.** GIA Knowledge Sessions Webinar Series. Carlsbad: Gemological Institute of America, 2020. Disponível em: https://youtu.be/_nMe_f6qfQY. Acesso

em 23 de maio de 2022.

WASEEM, Nikhat; KOTA, Srinivas. Sustainability Definitions- An Analysis. In: Chakrabarti, Amaresh; Chakrabarti, Debkumar. **Research into Design for Communities.** Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 66. Singapore: Springer, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-10-3521-0_31. Acesso em 28 de maio de 2022.

WEBB, Bela. **Are lab-grown diamonds really the sustainable future?** Disponível em: <https://www.voguebusiness.com/sustainability/are-lab-grown-diamonds-really-the-sustainable-future-we-pandora-de-beers>. Acesso em 21 de maio de 2022.

YAHN, Camila. **Diamantes de laboratório.** FFW. Disponível em: <https://ffw.uol.com.br/noticias/moda/diamantes-de-laboratorio-entenda-as-diferencas-e-os-beneficios-dessa-nova-tendencia-da-joalheria/> Acesso em 24 de abril de 2023.

ZHDANOV, Vladislav; SOKOLOVA, Marina; Smirnov, Pavel; ANDRZEJEWSKI, Lukasz; BONDAREVA, Julia; EVLASHIN, Stanislav. A Comparative Analysis of Energy and Water Consumption of Mined versus Synthetic Diamonds. **Energies** 14, nº 21: 7062. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/21/7062>

AUTORES

ORCID: 0000-0002-4387-7537

PAULINA HELENA ZANLUCHI MIOR, MESTRANDA. | UFRGS | DESIGN | Porto Alegre, RS - Brasil | Correspondência para: R. Fernando Ferrari 1393 caixa 23 - Centro, Esteio - RS, 93260-030 | e-mail: zanluchi.mior@ufrgs.br

ORCID: 0000-0003-2109-0677

JOCELISE JACQUES DE JACQUES, DOUTORA. | UFRGS | DESIGN | Porto Alegre, RS - Brasil | Correspondência para: Av. Osvaldo Aranha 99, sala 408 - Centro, Porto Alegre - RS, 90035-190 | e-mail: jocelise.jacques@ufrgs.br

ORCID: 0000-0001-5690-0794

LAUREN DACUNHA DUARTE, DOUTORA. | UFRGS | MINERALOGIA E PETROLOGIA | Porto Alegre, RS - Brasil | Correspondência para: Av. Osvaldo Aranha 99, sala 604 - Centro, Porto Alegre - RS, 90035-190 | e-mail: lauren.duarte@ufrgs.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

MIOR, Paulina Helena Zanluchi; JACQUES, Jocelise Jacques de; DUARTE, Lauren da Cunha. MIX Sustentável, v. 10, n. 1, p. 151-160, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: __/__/_.doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.151-160>>.

SUBMETIDO EM: 06/06/2023

ACEITO EM: 09/10/2023

PUBLICADO EM: 16/05/2024

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRedit Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

PHZM: conceituação, análise formal, investigação, metodologia, administração de projetos, visualização, escrita, rascunho original.

JJJ: supervisão, validação, visualização, escrita - revisão & edição.

LCD: supervisão, validação, visualização, escrita - revisão & edição.

Conflict declaration: nothing has been declared.

BUILDING OCCUPANCY & THERMAL PERFORMANCE: A CASE STUDY IN DIFFERENT CLIMATE ZONES IN BRAZIL

*USO DE EDIFICAÇÕES & CONFORTO TÉRMICO: ESTUDO DE CASO
EM DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS*

*OCUPACIÓN DE EDIFICIOS Y DESEMPEÑO TÉRMICO: UN ESTUDIO DE CASO
EN DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS EN BRASIL.*

PAULO EDUARDO MEZZOMO DA SILVA, Msc. | UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

ANDREA PARISI KERN, Dra. | UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

MARIA FERNANDA OLIVEIRA, Dra. | UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas, Brasil

ABSTRACT

This study investigates the difference in buildings' thermal performance due to different parameters of home permanence from those proposed by Thermal Standards in distinct climate zones. It is based on the changes in the occupation of residential buildings in recent years, due to the greater flexibility of remote work, for instance. Different scenarios were performed through the building design of single-family houses and 4-story multifamily buildings, using as variables: the use of equipment, presence of people, windows opening, and four climate zoning. The pattern of building use recommended by the Brazilian Standard regards only night residence occupancy, while the study considers alternative scenarios by day and night occupancy. Results show that alternative scenarios presented the lowest percentage of hours in the thermal comfort range and higher annual thermal discomfort degrees-hours. Also, great differences are observed in results between cold and hot climates. Those finds indicate the need for standards updates to match the reality of residential building uses and suggest that design solutions should be climate-specific, aiming for greater thermal comfort for the user and, at the same time, potentiating the energy efficiency of the building.

KEYWORDS

Thermal performance; building uses, building design thermal simulation.

RESUMO

Este trabalho investiga diferenças no conformto térmico de edificações devido a diferenças de uso em edificações residenciais (permanência de pessoas) aos padrões de uso previsto na norma brasileira de Conforto, considerando diferentes zonas bioclimáticas. O trabalho se baseia na diferença de ocupação das residências nos últimos anos, especialmente devido à maior flexibilidade e trabalho remoto, por exemplo. Diferentes cenários foram simulados, considerando um projeto arquitetônico de uma casa residencial e um edifício de 4 pavimentos, tendo também como variáveis uso de equipamentos, presença de moradores, janelas abertas e 4 zonas bioclimáticas. O padrão de uso preconizado pela Norma Brasileira considera a presença de pessoas nas residências somente no turno da noite, enquanto este estudo investiga cenários alternativos, com ocupação das residências noite e dia. Os resultados mostram que os cenários alternativos apresentam menores percentuais anuais de horas na faixa de conforto térmico e maiores horas-graus em desconforto. Também aponta diferenças nos resultados entre as zonas de climas frio e quentes. Os resultados



sugerem a necessidade de atualização da normatização para adequação á novas realidades de ocupação residencial e sugerem que as definições de projeto devem ser específicas para cada clima a fim de melhorar o conforto térmico das residências e ao mesmo tempo potencializar a eficiência energética das edificações.

PALAVRAS-CHAVE

Conforto térmico, uso de edificações, simulação energética de projeto.

RESUMEN

Este trabajo investiga las diferencias en el confort térmico de los edificios debido a las variaciones en el uso en edificaciones residenciales (permanencia de personas) con respecto a los estándares de uso previstos en la norma brasileña de Confort, considerando diferentes zonas bioclimáticas. El trabajo se basa en la variación en la ocupación de las residencias en los últimos años, especialmente debido a una mayor flexibilidad y trabajo remoto, por ejemplo. Se simularon diferentes escenarios, considerando un proyecto arquitectónico de una casa residencial y un edificio de 4 plantas, teniendo como variables el uso de equipos, la presencia de residentes, ventanas abiertas y 4 zonas bioclimáticas. El estándar de uso recomendado por la Norma Brasileña considera la presencia de personas en las residencias solo durante el turno nocturno, mientras que este estudio investiga escenarios alternativos, con ocupación de las residencias de día y de noche. Los resultados muestran que los escenarios alternativos presentan menores porcentajes anuales de horas dentro del rango de confort térmico y mayores horas-grado en incomodidad. También señala diferencias en los resultados entre las zonas de climas fríos y cálidos. Los resultados sugieren la necesidad de actualizar la normativa para adaptarse a las nuevas realidades de ocupación residencial y sugieren que las definiciones de proyecto deben ser específicas para cada clima con el fin de mejorar el confort térmico de las residencias y, al mismo tiempo, potenciar la eficiencia energética de los edificios.

PALABRAS CLAVE

Desempeño térmico; usos de edificios, simulación térmica del diseño de edificaciones.

1. INTRODUCTION

Reducing energy and natural resource consumption is on the discussion agenda in different countries, and the construction sector plays an important role. Prakash et al. (2021) argue that, over the past decade, a relevant energy consumption increase has been observed due to development and changes in living standards. McNeil et al. (2008) point out a substantial change in energy consumption in residential scenarios due to the greater ease of acquiring individual air conditioners, for example.

The relationship between energy efficiency and building thermal performance should be increasingly addressed, aiming to reduce buildings' thermal loads to minimize energy consumption. (Ling-Chin et al., 2019; Qiao and Liu, 2020). According to Varela Luján et al. (2019), implementing energy-saving strategies is the current imperative to reduce energy consumption in the building sector.

However, studying building thermal performance is complex. Many issues must be considered and updated when establishing standards and parameters, such as climate change, construction systems, specific climate criteria (zone, humidity), and user behavior.

As Garay et al. (2022) indicated, the climate change phenomenon highlights the need for public policies to ensure minimum thermal comfort parameters. Therefore, climate change is a significant issue and affects our overall well-being, specifically thermal comfort. In this context, policies formulated by the government or other relevant institutions should address the impact of climate change by establishing and enforcing standards or guidelines to ensure that people have a certain level of thermal comfort consistent with the changing climate conditions. These policies may include measures such as improving building insulation, implementing energy-efficient heating and cooling systems, or developing urban planning strategies that mitigate the effects of extreme temperatures.

Many studies have been investigating construction systems, new materials, and elements to improve the thermal performance of the building, aiming to reduce the energy consumption for new construction or even to adapt existing buildings, envelopes, and façades in different contexts and cities (Barbaresi et al., 2020; Varela Luján et al., 2019, Rathore et al., 2022).

However, how buildings are operationalized by their users is an essential and complex variable in the building's thermal performance and deserves special attention (DeKay and Brown, 2014; Li et al., 2020).

Predicting users' use and operational behavior is

challenging because it is strongly linked to users' habits and involves greater diversity, especially in the residential segment (Balvedi et al., 2018; Mahdavi, 2011). For example, using natural ventilation by window opening is rare in most centrally air-conditioned buildings, typically commercial ones, contrary to what happens in residential buildings (Chen et al., 2021; DeKay and Brown, 2014)

Passive or active measures may address the thermal performance of residential buildings. The first approach involves implementing passive measures, which focus on improving the building's envelope (the structure's outer shell) through design choices and materials. These measures aim to reduce heat transfer and maintain comfortable conditions inside the building without relying heavily on active systems. The second approach involves using active systems, such as air conditioning or heating systems, to regulate and control the indoor temperature. These systems can maintain a constant temperature within the building for extended periods, regardless of the external climate conditions. Active measures provide an advantage over passive ones because they provide greater indoor environment control (Garay et al., 2022)

However, Li et al. (2020) report that when dissatisfied with the ambient temperature and/or shading of the windows, the user intervenes with manual adjustments, which must be incorporated into the concept of user-centered buildings. This manual tuning of automated conditions reflects the need to understand specific aspects of user behavior, and such interventions and manual adjustments in controlled systems are not necessarily compensatory for the energy efficiency of buildings (Ding et al., 2021)

A widely used way to analyze the thermal performance of a building is through simulation software, thus being an analytical tool through which decision-makers can gain insight into complex phenomena. Specific software predicts buildings' thermal performance through digitally modeled design simulations based on methods prescribed by standards, usually regarding different variables, mainly related to the building (size, construction materials, and system), the location and climate, and the use of the building (occupant habits).

The thermal analysis must consider occupancy and user behavior, not only by the presence of people – whose occupation generates sensible and latent heat – but also by their actions (Sorgato et al., 2016). For example, the decision to open or close windows or turn on the air conditioning equipment (Balvedi et al., 2018; Sorgato et al., 2016). The effects of an occupant are classified into

three main categories: occupancy, interactions, and behavioral efficiency (Mahdavi, 2011). The occupancy is related to arrivals, departures, permanence duration, and number of occupants. As an interaction, the authors point out air conditioning, lighting, electrical appliances, and windows opening. Behavioral efficiency is about the people's education and conscience approaches.

The usual simulation methods follow static models, adopting standardized cultural and local configurations. However, usage follows stochastic models with no repetitive pattern. Several studies show the need to update the thermal performance methods in the Brazilian context, where this study was performed. In common, researchers claim that Brazilian standard methods do not adequately represent the thermal behavior of buildings within their climatic context, and they highlight the lack of simulation use and operation parameters and variables, which have a high influence on the analyses (Mazzaferro et al., 2020; Melo et al., 2014; Oliveira et al., 2017).

In Brazil, thermal comfort parameters for internal spaces are set by Regulatory Norm NR 17 - Ergonomics and NBR 16401 Brazilian Standard. Both limit thermal comfort conditions to commercial environments with restricted temperature and air velocity ranges. Therefore, the thermal comfort assessment in indoor environments is mainly carried out according to the American Standard ASHRAE 55 (Thermal environmental conditions for human occupancy, last revision - 2017), which deals only with thermal environmental conditions for human occupancy (Lamberts et al., 2021)

However, it is essential to consider that simulation information cannot always express results from reality. For example, Zou et al. (2019) found that the actual energy consumption can be twice to five times higher than predicted by the simulation models. The difference between the expected energy consumption in the design stage and the energy consumption in the post-occupancy phase (called the performance gap) has a significant financial and environmental impact. Thus, special attention is needed to the parameters used in the thermal performance simulations to represent the occupancy phase of the buildings better.

In this context, this study focuses on the perception of changes in the occupation of residential buildings in very recent years. Before 2020, it was reasonable to assume a precise scenario of most residential buildings being generally occupied at night while commercial buildings were occupied during the day. However, the current scenario considerably changed due to the COVID-19 pandemic and

social isolation. Following Pacini et al. (2023), during pandemic isolation, the home office practice growth is equivalent to 30 years of pre-pandemic home office growth. For instance, energy consumption in Norway apartments increased by up to 27% during social isolation because of remote work (Ding et al., 2021). In the post-pandemic, the expectation of a drastic reduction of home office did not occur in some sectors, especially in the upper classes of society. The study by FGV's Brazilian Institute of Economics (IBRE) shows that the home office practice has grown, with the expectation of continuing to grow (Pacini et al., 2023).

Therefore, changes in the way of life that affect the occupancy of buildings must be considered when establishing thermal comfort parameters because the demand for equipment and energy consumption tends to follow the activities of the people who use a particular space (DeKay and Brown, 2014).

This study investigates the difference in thermal performance of buildings through context simulation that adopts the pattern of building use recommended by the Brazilian Standard compared to alternative contexts regarding day and night occupancy and different windows opening.

2. RESEARCH METHOD

The investigation consisted of the simulation of the residential design, considering four cities from different Brazilian climate zones. The study was conducted through simulation, adopting the Energy Plus software, version 9.3. EnergyPlus is a free computer program distributed by the US Department of Energy, widely used by engineers, architects, and researchers to model the energy performance of a building.

2.1 Variables

The studies were conducted through simulations, considering the main variables in Brazilian social housing. In this work were considered:

- a) Residential building design: can determine the envelope's exposure level to weather and climate variations and the heat storage capacity.
- b) Climate zoning: identifies the level of exposure to different regional climatic realities.
- c) Building use: considers the thermal load determined by the length of stay of users in the rooms of prolonged

stay in the house, in addition to the metabolic rate of users, lighting systems, and equipment.

d) Natural ventilation: considers the influence of window opening and closing operations during the day.

2.1.1 Buildings design type: Single-family house and multifamily building

Two types of residential buildings adopted in social housing in Brazil were investigated. The housing programs of the Brazilian government indicate some types of construction, which basically should be buildings, isolated houses, or semi-detached houses. This study considers a single-family residence in a detached house (H), with an area of 40m², and the other is a multifamily four floors apartment building (B), with a 38m² area for each housing unit. (Figure 1).

Both buildings' architectural program comprises a li-

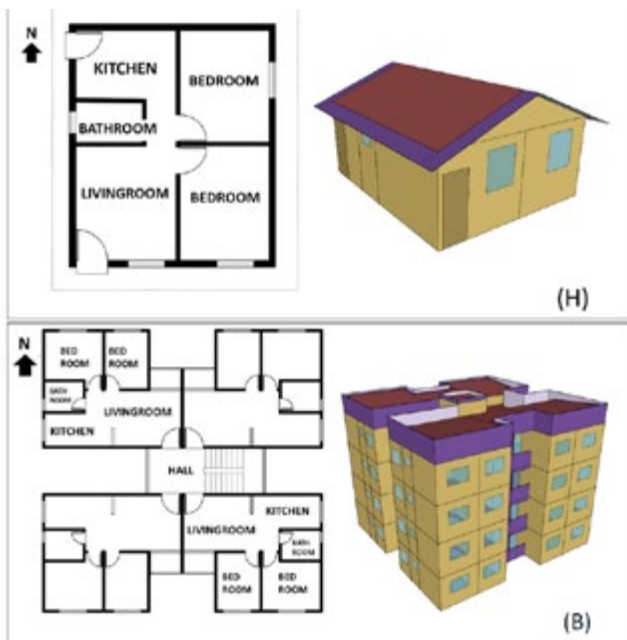


Figure 01: Single-family house (H) and multifamily building (B).

ving room, kitchen, bathroom, and two bedrooms, considering a four people family as a typical user. Also, the construction system is structural masonry with ceramic blocks (19cm), plaster, and cement mortar as internal and external coatings for both. Table 1 presents the thermal characteristics of the external walls construction system wall, based on the Brazilian standard NBR ISO 10456.

Material	Thermal characteristics*									
	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	c (kJ/kg.°C)	ϵ	T_s	R_{fs}	T_v	R_{fv}	T_r	ϵ_r
Ceramic blocks	1600	0.90	0.92	0.90						
Cement mortar	2000	1.15	1.00	0.90						
Plaster	1200	0.70	0.84	0.90						
Fiber cement tiles	1700	0.65	0.84	0.90						
Wood	400	0.10	2.30	0.90						
Float glass		1.00			0.847	0.078	0.902	0.081	0	0.84

Table 01: External walls construction system Thermal characteristics.

It was considered a roof with a concrete slab (10cm) and fiber cement tiles (0.6cm), doors made of wood (3cm), and windows with clear float glass (0.4cm). The external walls' color absorbs solar radiation (α) of 0.58. The float glass: T_s - Solar Transmittance = 0,847; R_{fs} - Solar Reflectance = 0.078; T_v - Visible Transmittance = 0.902; R_{fv} - Visible Reflectance = 0.081; T_r - Infrared Transmittance = 0; ϵ_f - Infrared Hemispherical Emissivity = 0.84.

2.1.2 Climate zoning: Z1, Z3, Z7, and Z8

The Brazilian Bioclimatic Zoning is the result of crossing data such as: parameters of human thermal comfort, climatic data, constructive strategies, and passive thermal conditioning, with the objective of establishing criteria to provide thermal comfort in residential buildings.

Currently, there are 8 climate zones, with zone 1 being the one that groups the coldest regions and zone 8 with the regions identified as warmer. Although these differences expressed in the characterization of the climatic zones have the objective of considering the climatic diversity of Brazil, it is still possible to find the same building project in regions with different climatic characteristics. Unfortunately, there is still a standardization in architectural design that, to provide thermal comfort, requires the use of active thermal conditioning (air conditioning systems, humidifiers, dehumidifiers, etc.).

The simulations were performed considering four Brazilian cities representing different climatic zones (Z): Curitiba, climate zone 1 (Z1); Porto Alegre, climate zone 3 (Z3); Cuiabá, climate zone 7 (Z7); and Manaus, climate zone 8 (Z8). Table 2 shows the location of the cities, the annual average temperature (dry bulb) (TBSm °C), and the interval considered as the thermal comfort criterion range for each one by Brazilian standard.

As shown in Table 2, Zones 1 and 3 are classified as Subtropical Climate, while Zones 7 and 8 as Tropical Climate. For Zones 1 and 3, the criterion for defining thermal comfort is the same, with internal temperatures that can vary between 16 °C and 28 °C, despite representing cities with different average annual temperatures. On the other hand, differences in annual temperature averages

are considered for cities in Zones 7 and 8 through different criteria. Thus, for the city of Cuiabá, located in Zone 7, the criterion that defines thermal comfort is a temperature equal to or less than 28 °C, while for Manaus, thermal comfort is indicated for a temperature equal to or less than 30 °C.

City	Climate zone	Climate	Annual average temperature (°C)	Thermal comfort criterion (°C)
Manaus	Z8	Tropical	27,3	TC ≤ 30
Cuiabá	Z7	Tropical	26,3	TC ≤ 28
Curitiba	Z1	Subtropical	17,4	16 ≤ TC ≤ 28
Porto Alegre	Z3	Subtropical	20,0	16 ≤ TC ≤ 28

Table 02: Brazilian cities used in this study, their climate, and Thermal Comfort (TC) Criterion.

2.1.3 Building use: permanence in extended-stay rooms

The variables related to the use and operation refer to the permanence of the occupants in the extended-stay rooms (bedrooms and living room). The study considered the building use parameters recommended by the Brazilian standard NBR 15575-1, called "Standard Use." Which considers that occupants of residential buildings remain at home at night (from 6 PM to 6 AM). The investigation proposes an alternative scenario that regards occupants staying home during night and day, called "Night and Day Use". Table 3 and 4 show the heat sources of presence of people, lighting, and equipment for one day long (24h) in the two studied scenarios.

Table 5 shows the heat sources (generated by the occupants, lighting systems, and equipment) based on NBR 15575-1. For the bedroom environment, the main activity considered was rest and sleep, which are activities of low metabolic rate and consequently low thermal load. For the modeling of the living room, the metabolic rate adopted refers to the activity of watching TV sitting down, with the thermal load of the TV turned on also being considered during the users' occupancy. For the bedroom environment, the main activity considered were resting and sleeping, both activities of low metabolic rate and consequently low thermal load. In the modeling of the living room, the metabolic rate adopted refers to the activity of watching TV sitting down, with the thermal load of the TV turned on also being considered during the users' occupancy.

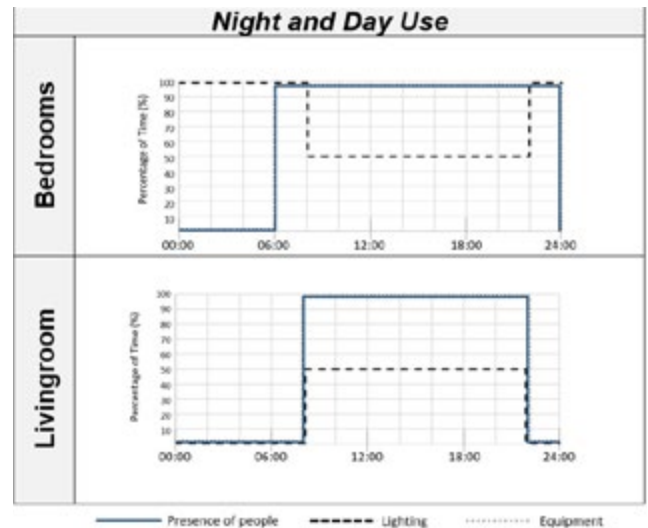


Table 03: The daily presence of people, lightning, and equipment (%) of buildings in "Night and day" use.

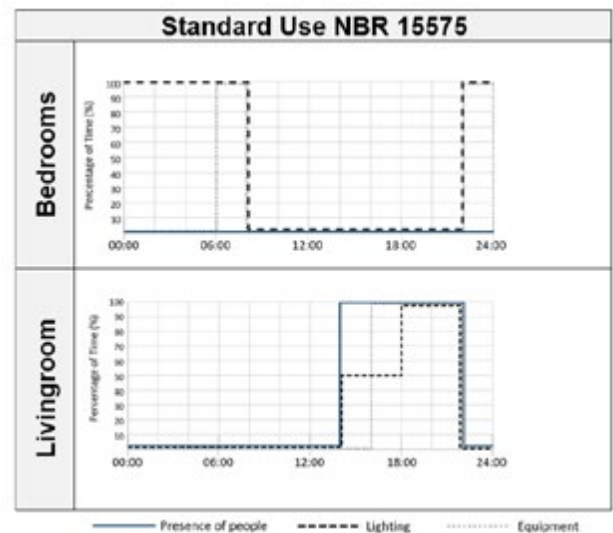


Table 04: The daily presence of people, lightning, and equipment (%) of buildings in "Standard" use scenario.

Room	Metabolic rates (people)			Lighting			Equipment	
	Activity	Heat / Person (W)	Radiant fraction	Installed power density (W/m²)	Radiant fraction	Visible fraction	Power (W)	Radiant fraction
Bedroom	Resting/sleeping	81	0.3	5	0.32	0.23	0	-
Living Room	Watching TV	108	0.3	5	0.32	0.23	120	0.3

Table 05: Heat sources considered in the parameters of use.

2.1.4 Natural ventilation

The single-family house (H) and the multifamily building (B) were simulated regarding two natural ventilations, called "Selective Ventilation" (following standard patterns) and "Daytime Ventilation" (alternative patterns).

"Selective Ventilation" regards windows opening by the users, following the parameters of Brazilian standard

NBR 15571-1 when: (1) occupying bedrooms or living rooms; (2) indoor temperature equal to or greater than 19°C; and (3) indoor temperature greater than the outdoor temperature. In addition, bathroom windows are considered open, and internal doors are kept open, except for external doors and bathroom doors, which are permanently closed. In "Daytime Ventilation" scenarios, the windows opening occurs during the day, regardless of the presence of people or the indoor or outdoor temperature.

2.2 Simulations

The analysis of results considered the entire annual period, regarding two measurements: percentage of hours occupied within thermal comfort temperature range; and discomfort degrees-hour for cooling and heating out of thermal comfort range. The thermal performance of naturally ventilated buildings is done by analyzing the number of hours of discomfort and number of degree-hours of discomfort, calculated from the total hours of the year in which the internal temperatures of the rooms exceed the limits established as comfortable.

To verify the influence of occupancy patterns on the thermal performance of buildings, we started with three types of occupancy defined according to occupancy patterns. The first refers to the standard occupancy; the second the thermal load variation resulting from the presence of users, and the third considers variation the window opening and closing operations. Figure 2 represents the variables considered to investigate different scenarios of thermal performance through design simulation.

Thus, the time that windows are open is considered as the main variable, which can be: "Standard Use" with "Selective Ventilation", consisting of 8h for the bedrooms and 2h the living rooms; "Night and Day" with "Selective Ventilation", consisting of 24h for the bedrooms and 14h the living rooms; "Night and Day" with "Daytime Ventilation", consisting of all windows open during the day for 10 consecutive hours.

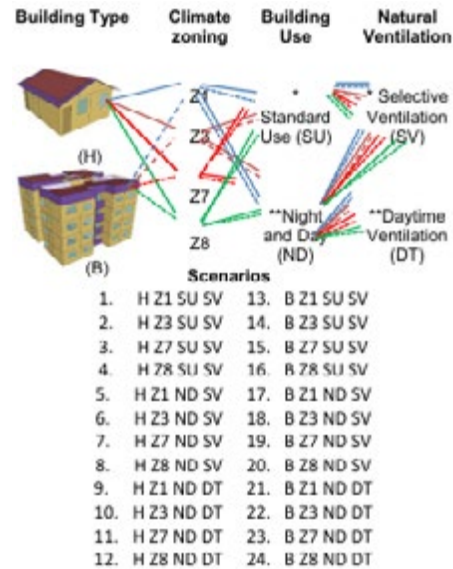


Figure 2: Thermal performance simulation variables and scenarios.

In total, 24 scenarios were performed considering the variables shown in Figure 2, allowing the comparison of the thermal performance of houses and buildings according to the patterns established by NBR 15220/2005 with alternative usage patterns, considering 4 Brazilian bioclimatic zones.

3. RESULTS

The results are presented in terms of the percentage of annual hours in thermal comfort and the discomfort degree-hours for cooling and heating. Figure 3 shows the percentage of hours per year within the thermal comfort due to temperature limits for a single-family house and multifamily building. In both buildings, the thermal performance considering Brazilian Standard patterns of use and ventilation, called "Standard Use" (SU), is compared with the thermal performance of alternative buildings' use and ventilation, "Night and Day Use" with "Selective Ventilation" (ND SV) and "Daytime Ventilation" (ND DV).

In the buildings, the alternative uses presented a lower percentage of hours in thermal comfort than the standard use for zones 3, 7, and 8. In the building models generated for the coldest Brazilian climate zone, "Night and Day" use with "Selective Ventilation" presented higher hours in thermal comfort.

The models generated for single-family houses showed differences depending on the climatic characteristics of the analyzed cities. In cities with a warmer climate, located in climate zones 7 and 8, "Standard Use," a few hours with natural ventilation, presented a higher

percentage of hours in thermal comfort than models with "Night and Day" use. In the coldest Brazilian climate zones 1 and 3, the highest percentage of hours in thermal comfort in the houses occurred with opening and closing windows for natural ventilation. In this sense, the greater area of exposure to the sun on the external walls may have helped to reach more suitable temperatures, as well as opening the windows at certain times can allow the entry of warmer air.

These results indicate that the presence of people at home during the day decreases the time within the supposed thermal comfort zone, especially in hot climates, as in zones 8 and 7. The only exception, where the alternative scenario showed the best results from the standard use and ventilation, was in the house simulation in zone 1 (cold climate). Results also show that the difference in the ventilation (when comparing "night and day use – selective ventilation with "night and day use – daytime ventilation) is less perceived in hot climates than in cold climates. Moreover, the thermal performance was very similar in single-family and multifamily buildings. However, in zone 1 and 3, the kind of ventilation showed inverse behavior: in the multifamily building, daytime ventilation showed the best result than selective ventilation.

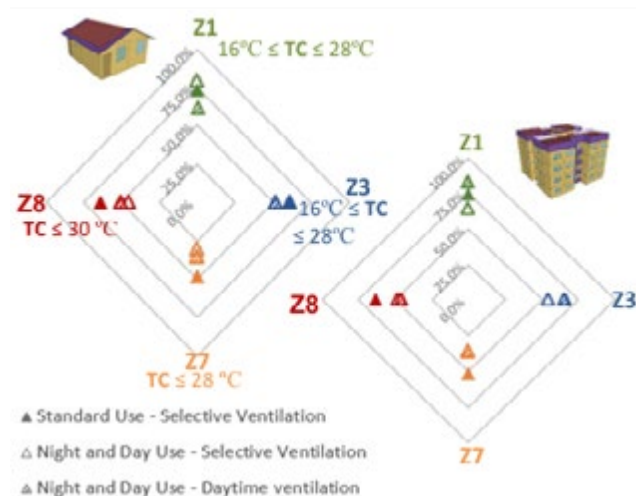


Figure 3: Percentage of annual hours in thermal comfort (TC).

Results of annual thermal discomfort (Figure 4) in zones 1 and 3 are the sum of degrees-hours in discomfort due to cold and heat (TD due to heat + TD due to cold), while results of annual thermal discomfort in zones 7 and 8 are only due to heat.

The annual thermal discomfort from Figure 4 indicates a greater difference among the studied variables. However, it is observed very similar behavior when comparing the standard parameters between the

single-family house and multifamily building.

When simulating the alternative's parameters, the presence of the people during the day showed a considerable increase in the thermal discomfort indicator, especially in zone 7. There are also behavioral differences between the two cities from cold and hot climates and between the two types of buildings.

In zone 1, all scenarios showed greater thermal discomfort due to cold, while in zone 3, the thermal discomfort is mainly due to heat. In both zones, daytime ventilation led to higher indicators of thermal discomfort in the multifamily building.

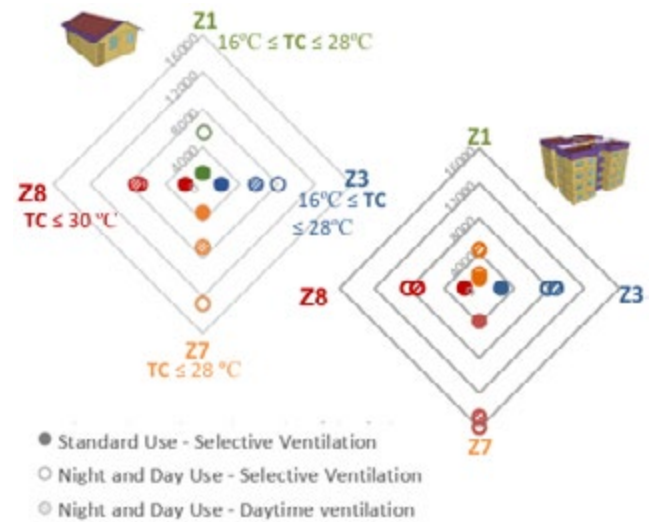


Figure 4: Annual Degrees-hours (°C) in thermal discomfort (TD)

Simulations in Zone 7 indicate the highest thermal discomfort in all scenarios. The alternative parameters of building use showed an increase in annual discomfort by up to 4 times compared to the parameters predicted in the Brazilian standard. Scenarios from Zone 8 presents similar results to zones 1 and 7 when the standard parameters are considered. The variables proposed for use show an annual increase in thermal comfort of up to 5 times.

4. FINAL DISCUSSION

The consideration of the occupation of houses during daytime periods, different from the pattern predicted by the Brazilian standard, showed a decrease in the percentage of hours in thermal comfort and higher degrees hour in discomfort in the scenarios in a zone with the highest annual temperature. Comfort indicators in the multifamily building scenarios were lower than the single-family house, indicating a loss of thermal performance in the

case of multifamily buildings, with an exception for the "Standard Use" scenarios in Zone 8.

The four façades of the single-family house having windows or doors allow cross ventilation, which may have influenced the results. Except for Zone 8, results regarding standard use show better thermal comfort in single-family house scenarios than the alternative uses (selective ventilation). In the context of the multifamily building, results from standard use with selective ventilation presented high variations compared to the alternative uses scenarios. The analysis of daytime ventilation results showed higher variation than selective ventilation in single-family houses and multifamily buildings. In these cases, the increase in air exchange was also possible because of the air inlet and outlet on the four facades.

Except for the "Standard Use" in Zone 8, the degrees hour in discomfort due to the heat of the other scenarios were higher in the simulations with the multifamily building than those with the single-family house. The cold indicators were lower, suggesting internal temperatures were higher annually.

In Zones 1 and 3, "Night and Day Use" scenarios showed higher thermal discomfort due to heat than in "Standard Use" in Zones 7 and 8, 4 to 5 times higher.

The more significant thermal discomfort in scenarios' Day and Night Use" can be explained due to the intensive exposure of the user to indoor temperatures during the daytime. Those results suggest that the factors contributing to the variation of the values of the thermal discomfort are internal heat gains in colder zones (Zones 1 and 3) and, in warmer zones (Zones 7 and 8), the user exposure to residential environments.

"Daytime Ventilation" presented losses in thermal performance (indicated by lowest hours in comfort %) in simulations in Zones 1 and 3 and gains in Zones 7 and 8, in comparison with results from "Selective Ventilation" based on NBR 15575-1 (ABNT, 2021).

This behavior occurs due to climatic differences, assuming that "Daytime Ventilation" causes greater air exchanges. Consequently, there is a reduction in internal temperatures, influencing the increase in discomfort due to cold in zones 1 and 3 and the reduction in discomfort due to heat in all zones. Furthermore, this behavior explains why thermal comfort improves in warmer climate conditions (Zones 7 and 8), with degree-hour discomfort only for heat.

Building use and operation showed more than 15% variation in thermal comfort (hours%) and more than 300% in thermal discomfort. Thus, a significant influence

of users on the thermal behavior of buildings is observed, therefore, on their thermal comfort, as highlighted by (Balvedi et al., 2018; Ding et al., 2021).

Results showed that the prolonged use of the residences, which occurs in scenarios of "night and day use," tends to increase the internal temperatures (internal heat gains). Thus, in zones with colder climates, such as Zone 1 and Zone 3, this behavior was generally satisfactory in thermal performance, reaching a 7.9% increase in thermal comfort compared to standard use. These results are similar to those (Eli, 2020), which observed higher cooling thermal loads in scenarios with a prolonged occupation and lowered in scenarios with a predominantly nocturnal occupation pattern.

In colder zones, natural daytime ventilation showed a reduced thermal performance related to the increased thermal discomfort due to cold. In zones with a warmer climate, there was a tendency to increase thermal comfort and decrease thermal discomfort. In Zone 7 (the city of Cuiaba, with a hot and dry climate), there were different results comparing the single-family house and the multifamily building. The single-family showed greater thermal performance than the multifamily building. In Zone 8 (city of Manaus – hot and humid climate), thermal performance increased in all scenarios.

Those results demonstrate the vital role of users in building operations and occupation, significantly altering the conditions of comfort and thermal performance based on their habits. So, the building use should be deeply studied when possible since it can be used in favor of thermal performance and energy efficiency (Balvedi et al., 2018; DeKay and Brown, 2014; Ding et al., 2021).

Furthermore, the effects of the occupation of users on building thermal performance must be increasingly studied to reproduce the influence of different scenarios of users' behavior in building simulations coherently. Those studies may even consider a possible growing number of people working from home due to the changes in work relationships caused by isolation during the Covid 19 pandemic, creating a scenario closer to the alternative called "Night and Day" than the night stay scenario provided for by the standard ("Standard Use").

5. CONCLUSIONS

Scenarios with alternative parameters building use show different thermal behavior from those with parameters prescribed by the Brazilian Standard. The variation was

more than 15% fewer hours (%) in thermal comfort (hours%) and more than 300% in degrees hours (°C) in thermal discomfort in scenarios considering people staying at home during the day and night with windows opening. Also, results differed from results in the cities with the highest and lowest average annual temperature among those studied.

Considering that the alternative scenarios with people staying at home can be assumed to be more like what has been happening because of current work models, with a tendency to remain or increase in the future, these findings reinforce the need to update the parameters recommended by the thermal performance standards for residential buildings, as pointed out by the bibliography (Lamberts et al., 2021; Oliveira et al., 2017; Prakash et al., 2021). Engineers and architects may also consider results from this study in the search for design strategies aimed at choices and definitions that can increase the thermal performance of the building according to the climate zone in which the building will be built.

REFERENCES

ABNT, 2008. NBR 16401: Central and unitary air conditioning systems, Part 2: Thermal comfort, **ABNT**, Rio de Janeiro, 2008.

ABNT. NBR 15575-1/Em1: Edificações Habitacionais — Desempenho — Parte 1: Requisitos gerais Rio de Janeiro, 2021.

ABNT, 2022. NBR ISO 10456: Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values, **ABNT**, Rio de Janeiro, 2022.

BALVEDI, B. F.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. A review of occupant behaviour in residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 174, p. 495–505, 2018.

BARBARESI, A.; BOYO, M.; TORREGGIANI, D. The dual influence of the envelope on the thermal performance of conditioned and unconditioned buildings. **Sustainable Cities and Society**, v. 61, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102298>

CHEN, S. et al. **The impacts of occupant behavior on building energy consumption: A review**. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 45, 2021.

DEKAY, M.; BROWN, G. Z. **Sun, Wind & Light - Architectural Design Strategies**. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2014.

DING, Y. et al. Analysis of electricity use and economic impacts for buildings with electric heating under lockdown conditions: examples for educational buildings and residential buildings in Norway. **Sustainable Cities and Society**, vol. 74, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103253>

ELI, L. G. **O impacto do padrão de uso no desempenho térmico de edificações unifamiliares no Brasil**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2020.

GARAY, A.; RUIZ, A.; GUEVARA, J. Dynamic evaluation of thermal comfort scenarios in a Colombian large-scale social housing project. **Engineering, Construction and Architectural Management**, vol. 29, p. 1909–1930, 2022. <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2020-0684>

LAMBERTS, R. et al., Revisão da NBR 16.401-2: **Conforto Térmico**. Disponível em <https://labeee.ufsc.br/node/808>, 2021

LI, Z.; ZHU, H.; DING, Y.; XU, X.; WENG, B. Establishment of a personalized occupant behavior identification model for occupant-centric buildings by considering cost sensitivity. **Energy and Buildings**, vol. 225, 2020 [doi:10.1016/j.enbuild.2020.110300](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110300)

LING-CHIN, J. et al. UK policies and industrial stakeholder perspectives on building thermal performance. **Energy Procedia**, v. 158, n. 2019, p. 3375–3380, 2019.

MAHDAVI, A. People in building performance simulation. **In: Building Performance Simulation for Design and Operation**. 1. ed. Abingdon: Spon Press, 2011. p. 56–83.

MAZZAFERRO, L. et al. Do we need building performance data to propose a climatic zoning for building energy efficiency regulations? **Energy and Buildings**, 2020.
McNEILI, M.A.; LETSCHERT, V.E., Org, E., Title

Future Air Conditioning Energy Consumption in Developing Countries and what can be done about it: The Potential of Efficiency in the Residential Sector Publication Date, 2008

MELO, A. P.; SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R. Building energy performance assessment: Comparison between ASHRAE standard 90.1 and Brazilian regulation. **Energy and Buildings**, v. 70, p. 372–383, 2014.

OLIVEIRA, R. D.; SOUZA, R. V. G. DE; DA SILVA, R. M. Issues to be improved on the Thermal Performance Standards for Sustainable Buildings consolidation: an overview of Brazil. **Energy Procedia**, v. 111, P 71–80, 2017.

PACINI, S. et al. **Tendências do home office no Brasil** -. Rio de Janeiro, 2023.

PRAKASH, O et al. Thermal performance and energy consumption analysis of retail buildings through daylighting: A numerical model with experimental validation. **Mater Sci Energy Technol** vol. 4, p. 367–382, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2021.08.008>

QIAO, R.; LIU, T. Impact of building greening on building energy consumption: A quantitative computational approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 246, p. 1–13, 2020.

RATHORE, P.K.S. et al. Thermal performance of the building envelope integrated with phase change material for thermal energy storage: an updated review. **Sustainable Cities and Society**, vol. 79, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103690>

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 133, p. 1–13, 2016.

VARELA, L.S. et al. Experimental comparative study of the thermal performance of the façade of a building refurbished using ETICS, and quantification of improvements. **Sustainable Cities and Society**, vol 51, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101713>

ZOU, P.X.W.; WAGLE, D.; ALAM, M. Strategies for

minimizing building energy performance gaps between the design intend and the reality. **Energy and Building**, vol. 191, p. 31–41, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.013>

ACKNOWLEDGMENT

The authors wish to acknowledge the financial support of the CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) and CNPQ (Conselho Nacional de Pesquisa).

AUTHORS

ORCID: 0000-0002-9437-2141

PAULO EDUARDO MEZZOMO DA SILVA, MSc. | Universidade do Vale do Rio dos Sinos | Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | São Leopoldo, RS - Brasil | Correspondência para: Av. Unisinos, 950 - Escola Politécnica - São Leopoldo, RS, 93020-175 | e-mail: pauloemezzomo@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6406-6250

ANDREA PARISI KERN, Dra. | Unisinos | Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil | São Leopoldo, RS - Brasil | Correspondência para Av. Unisinos. 950, Escola Politécnica. São Leopoldo - RS, 93022-750 | email: apkern@unisinos.br

ORCID: 0000-0001-5369-688X

MARIA FERNANDA OLIVEIRA, Dra | Universidade Estadual de Campinas | Departamento de Arquitetura e Construção | Campinas, SP - Brasil | Correspondência para Rua Saturnino de Brito, 224 - Cidade Universitária - Campinas, SP - 13083889 | email: maria.fernanda@unicamp.br

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

SILVA, Paulo Eduardo Mezzomo da; KERN, Andrea Parisi; OLIVEIRA, Maria Fernanda. *MIX Sustentável*, v. 10, n. 1, p. 161-172, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mix-sustentavel>>. Acesso em: _/_/_doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.161-172>>.

SUBMITTED ON: 07/11/2023

ACCEPTED ON: 05/01/2024

PUBLISHED ON:

RESPONSIBLE EDITORS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRedit Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

PEMS: Conceptualization, formal analysis, investigation, methodology, writing – original draft, and data curation.

APK: Conceptualization, formal analysis, investigation, methodology, visualization, writing – original draft and writing – review & editing, and supervision.

MFO: Formal analysis, investigation, visualization, validation, and writing – review & editing.

Conflict declaration: nothing has been declared.

ANÁLISE CRÍTICA DO PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE GUARULHOS/SP

CRITICAL ANALYSIS OF THE INTEGRATED SOLID WASTE MANAGEMENT PLAN OF THE MUNICIPALITY OF GUARULHOS/SP

ANÁLISIS CRÍTICO DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRADA DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE GUARULHOS/SP

AGEU CAMARGO, Msc. | UNG – Universidade Guarulhos, Brasil

GABRIEL SOUSA DE FREITAS, Msc. | UNG – Universidade Guarulhos, Brasil

MÁRCIO MAGERA CONCEIÇÃO, Dr. | UNG – Universidade Guarulhos, Brasil

FABRÍCIO BAU DALMAS, Dr. | UNG – Universidade Guarulhos, Brasil

RESUMO

O estudo do consumo sustentável na sociedade atual é de suma importância para a melhora na qualidade de vida e para a sobrevivência das gerações futuras. Neste sentido, o presente estudo visa abordar como a legislação de proteção ao consumidor, no caso, o Código de Defesa do Consumidor Lei nº 8078/1990, e a legislação sobre a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/2010, contemplam formas e dispositivos capazes de promover a proteção ambiental por meio do chamado consumo sustentável, a logística reversa dos resíduos sólidos, bem como o Decreto nº 31513/2.013 que aprova o Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos de Guarulhos, pode propor uma solução prática da Logística Reversa, em especial no Município de Guarulhos. Nessa esteira, através de pesquisa bibliográfica, realiza-se um estudo teórico e com análise de dados secundários, retirados do site da CETESB e SEADE, sobre produção de resíduos sólidos urbanos e crescimento populacional de Guarulhos, respectivamente. Inicialmente foi abordada a origem e finalidade do direito brasileiro do consumidor, seu conceito jurídico fundamental, bem com os direitos básicos do consumidor. Em seguida, aludiu-se à temática da previsão normativa da questão ambiental em determinadas normas jurídicas do Código de Defesa do Consumidor. Na sequência, realizou-se um estudo sobre o vínculo entre a Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Direito do Consumidor. Ao final, apresenta-se uma visão panorâmica sobre a destinação de resíduos sólidos no Município de Guarulhos, propondo-se como solução a prática da Logística Reversa, em especial no Município.

PALAVRAS-CHAVE

Código de Defesa do Consumidor; Consumo Sustentável; Direito Ambiental; Logística Reversa.

ABSTRACT

The study of sustainable consumption in today's society is of paramount importance for improving the quality of life and for the survival of future generations. In this sense, the present study aims to address how consumer protection legislation, in this case, the Consumer Protection Code Law nº 8078/1990, and the legislation on the National Solid Waste Policy, Law nº 12.305/2010, contemplate ways and devices capable of promoting environmental protection through the so-called sustainable consumption, reverse logistics of solid waste, as well as Decree No. Reverse, especially in the Municipality of Guarulhos. In this vein, through bibliographic research, a theoretical study is carried out



with the analysis of secondary data, taken from the CETESB and SEADE websites, on urban solid waste production and population growth in Guarulhos, respectively. Initially, the origin and purpose of Brazilian consumer law, its fundamental legal concept, as well as basic consumer rights were addressed. Then, the theme of the normative forecast of the environmental issue was mentioned in certain legal norms of the Consumer Defense Code. Subsequently, a study was carried out on the link between the National Solid Waste Policy and Consumer Law. At the end, a panoramic view is presented on the destination of solid waste in the Municipality of Guarulhos, proposing as a solution the practice of Reverse Logistics, especially in the Municipality.

KEYWORDS

Consumer Protection Code; Sustainable Consumption; Environmental Law; Reverse Logistic.

RESUMEN

El estudio del consumo sostenible en la sociedad actual es de suma importancia para mejorar la calidad de vida y asegurar la supervivencia de las generaciones futuras. En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo abordar cómo la legislación de protección al consumidor, en este caso, el Código de Defensa del Consumidor Ley nº 8078/1990, y la legislación sobre la Política Nacional de Residuos Sólidos, Ley nº 12.305/2010, contemplan formas y dispositivos capaces de promover la protección ambiental a través del denominado consumo sostenible, la logística inversa de los residuos sólidos, así como el Decreto nº 31513/2.013 que aprueba el Plan de Gestión Integrada de Residuos Sólidos de Guarulhos, puede proponer una solución práctica para la Logística Inversa, especialmente en el Municipio de Guarulhos. En este sentido, a través de la investigación bibliográfica, se lleva a cabo un estudio teórico y un análisis de datos secundarios, obtenidos del sitio web de la CETESB y SEADE, sobre la producción de residuos sólidos urbanos y el crecimiento poblacional de Guarulhos, respectivamente. Inicialmente se aborda el origen y el propósito del derecho brasileño del consumidor, su concepto jurídico fundamental, así como los derechos básicos del consumidor. A continuación, se hace referencia a la temática de la previsión normativa de la cuestión ambiental en ciertas normas jurídicas del Código de Defensa del Consumidor. Posteriormente, se realiza un estudio sobre la conexión entre la Política Nacional de Residuos Sólidos y el Derecho del Consumidor. Finalmente, se presenta una visión panorámica sobre la disposición de residuos sólidos en el Municipio de Guarulhos, proponiendo como solución la práctica de la Logística Inversa, especialmente en el Municipio.

PALABRAS CLAVE

Código de Protección al Consumidor; Consumo Sostenible; Derecho Ambiental; Logística Inversa.

1. INTRODUÇÃO

O consumo sustentável foi incluído como parte de um dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) elaborados pela associação das nações Unidas (ONU) em 2015 (ARAÚJO ET AL., 2021). Os recursos naturais são abundantemente aplicados para atender às necessidades humanas, tornando necessária uma revisão do conceito de desenvolvimento (FREITAS, BULBOVAS e ARRUDA, 2021). O estudo do consumo sustentável na sociedade atual é fundamental para a melhora na qualidade de vida e para a sobrevivência das gerações futuras, considerando que com o aumento da sociedade de consumo, que ensejou aumento da qualidade de vida, criação de empregos, novas técnicas de produção e comercialização, surgiu um avanço desenfreado de produção, necessitando de previsões normativas da questão ambiental em determinadas normas jurídicas, incentivando práticas educativas aos consumidores voltada à preservação ambiental, conforme previsto no art. 6º, inciso II, da Lei nº.12.305, de 02 de Agosto de 2010 (BRASIL, 2010).

Não se pode esquecer que a defesa do meio ambiente e do consumidor, são reconhecidos como novos direitos, em um panorama histórico. Possuem pautas comuns, a serem protegidas mediante atuação estatal, haja vista sua dimensão coletiva, de modo que por diversas vezes incidem ao mesmo tempo as normas de proteção ao direito do ambiental e do consumidor. A criação de uma cultura de consumo sustentável passa necessariamente pela proteção dos direitos do consumidor, como o direito à informação e a liberdade de escolha, como garantias importantes para o desenvolvimento sustentável (HOLANDA e FREITAS, 2020)

Compatibilizar a proteção ambiental com o consumo desenfreado que enseja um descarte equivocado dos resíduos sólidos, que o consumo sustentável por meio da logística reversa surge como possibilidade de colocar o consumidor como ator principal na preservação ambiental, à luz da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010). Palombini e Cidade (2022) afirmam se os resíduos forem devidamente separados e tiverem interesse comercial, podem ser reciclados; caso contrário, são desperdiçados, causando problemas ambientais, econômicos e sociais.

A gestão de resíduos sólidos municipais faz parte da estratégia de desenvolvimento sustentável e, deve ser racional em termos de recursos naturais, reduzir os resíduos gerados e minimizar os riscos associados ao seu descarte (SIMÃO, NEBRA E SANTANA, 2021).

O Município de Guarulhos, visando a preservação ambiental, instituiu o Decreto nº 31513, de 26 de dezembro de 2013 (GUARULHOS, 2013), inclusive apresentando Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos no município, com definição da estratégia de universalização da prestação dos serviços com ações preventivas e corretivas das atividades; definição da responsabilidade compartilhada para a gestão dos resíduos públicos e privados, implantação da logística reversa, da educação ambiental e do controle social com aumento das parcerias com agentes sociais e econômicos envolvidos no ciclo de vida dos materiais; a incorporação de alternativas tecnológicas apropriadas à destinação dos diversos tipos de resíduos e a priorização da inclusão social e econômica dos catadores de materiais recicláveis.

Deu-se especial atenção há não geração dos resíduos, sua redução, reutilização, reciclagem, o tratamento e a disposição ambientalmente adequados dos rejeitos. Freitas e Dalmas (2021) afirmam que a reciclagem de resíduos é uma ação que mitiga os danos ambientais e contribui para a preservação do meio ambiente.

Dessarte, este estudo visa abordar como a legislação de proteção ao consumidor, no caso, o Código de Defesa do Consumidor Lei nº 8078/1990 (BRASIL, 1990), a lei a legislação sobre a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010) e o Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos de Guarulhos, que foi instituído pelo Decreto nº 31513, de 26 de dezembro de 2013 (GUARULHOS, 2013), contemplam formas e dispositivos capazes de promover a proteção ambiental por meio do chamado consumo sustentável, bem como pela logística reversa dos resíduos sólidos, demonstrando a importância da cooperação entre o Estado, fornecedor e o consumidor. Desta forma é necessário esclarecer o papel dos consumidores, apresentando seus direitos e deveres, como atores na preservação do meio ambiente, a luz da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, apresentando uma visão panorâmica do vínculo do Direito do Consumidor e o Direito Ambiental, bem como, apontando uma análise crítica sobre o Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos do Município de Guarulhos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Relação Direito ambiental e Direito do Consumidor

Diante do tema a ser estudado, qual seja o direito do consumidor e direito ambiental – à luz da Política Nacional dos Resíduos Sólidos - todo o referencial teórico se encontra baseado nas duas maiores leis que regem tais direitos, o Código de Defesa do Consumidor, Lei nº 8.078/90 (BRASIL, 1990) e a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), que trata da Política Nacional dos Resíduos Sólidos.

Cada vez mais se observa o aparecimento de fontes jurídicas não só em apenas e unicamente uma área do direito (MARQUES, 2015). Nesse sentido, Jaime (2003) aponta como característica do direito na pós-modernidade a velocidade, a ubiquidade, a liberdade e o pluralismo de fontes, sendo este último o de maior importância para o presente título.

Diante da infundável quantidade de fontes existentes no âmbito jurídico pós-moderno, poderia se criar uma confusão acerca de qual área caberia qual aplicação; Erik Jayme, jurista alemão, criou a teoria do “diálogo das fontes” (MARQUES, 2015) e é nesse diapasão que ensina Claudia Lima Marques o surgimento de uma necessária organização da legislação no mesmo ambiente para que se consiga, efetivamente, alcançar a ideia sobre o que se tem como justo e eficiente (MARQUES, 2012).

A defesa do consumidor e do meio ambiente se inserem em um mesmo contexto histórico. Ambos são representativos do que se reconhece como novos direitos. Têm em comum, portanto, o reconhecimento de novos interesses juridicamente relevantes, a serem protegidos mediante atuação estatal, tanto legislativa, quanto executiva. Da mesma forma, possuem uma dimensão coletiva, em que se encontram cada vez mais próximos, de modo que em muitas situações incidem ao mesmo tempo as normas de proteção ao consumidor e ao ambiente. (MIRAGEM, 2013).

A preservação do meio ambiente é um dos desafios do direito contemporâneo, redimensionou o modo de exame do próprio Direito, impondo a produção, aplicação e efetividade das normas em geral a um novo paradigma ambiental (LORENZETTI, 2011).

Conforme assevera MIRAGEM (2019), a deterioração ambiental pode prejudicar ou afetar o consumo humano de determinados bens. Porém não se desconhece também situações em que é o consumo humano a causa de

degradação (MONTEIRO, 1998) e a necessidade de ter-se em conta na regulação jurídica da produção e do consumo, também o tratamento ou prevenção de danos ao ambiente. Na Lei nº 6.938/81 (BRASIL, 1981), a própria definição legal de poluição compreende claro vínculo com o interesse direto do consumidor ao referi-la como: “a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas [...]” (art. 3º, III, alíneas “a” e “b”) (MIRAGEM, 2019).

Uma das questões que aproximam na prática a proteção dos consumidores e do meio ambiente é a adequada compreensão e aplicação do princípio da precaução. Foi consagrado na Declaração de princípios da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992 que, em seu item 15, dispôs: “De modo a proteger o meio ambiente, o princípio da precaução deve ser amplamente observado pelos Estados, de acordo com as suas capacidades. Quando houver ameaça de danos sérios ou irreversíveis, a ausência de absoluta certeza científica não deve ser utilizada como razão para postergar medidas eficazes e economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental” (MIRAGEM, 2013).

Da mesma forma, conforme transcreve Machado (2007), o Relatório da Comissão Europeia sobre precaução, de 2000, busca a afirmação do princípio nos seguintes termos:

“a invocação do princípio da precaução é uma decisão exercida quando a informação científica é insuficiente, não conclusiva ou incerta e haja indicações de que os possíveis efeitos sobre o ambiente, a saúde das pessoas ou dos animais ou a proteção vegetal possam ser potencialmente perigosos e incompatíveis com o nível de proteção escolhido” (MACHADO, 2007)

2.2 Desenvolvimento Sustentável

Estado, o consumidor e o fornecedor de serviços e produtos, todos conjuntamente, de acordo com a Constituição Federal e com as mais diversas legislações infraconstitucionais tem como função precípua, enquanto sujeitos da sociedade, proteger o meio ambiente. Entretanto, muito embora existam previsões legais de incentivo à prática de consumo sustentável, esta enfrenta percalços, em especial no que tange à compatibilização entre a “noção de

desenvolvimento dissociado da sustentabilidade ambiental” (SOARES, 2005).

Como consequência das preocupações com o impacto ambiental da atividade econômica e sua capacidade de poluição do meio ambiente, inclusive por intermédio do aumento do consumo de bens oferecidos no mercado, passaram a surgir iniciativas com o objetivo de controlar, também, os efeitos posteriores ao consumo (MIRAGEM, 2013). Para tanto, defende-se a necessidade de modernização estrutural do mercado visando à sustentabilidade ambiental (NOBRE, 2002). Aliás, é a sustentabilidade ambiental tema para o qual convergem o sentido e alcance das normas de proteção do consumidor e do meio ambiente (TRAJANO, 2011).

O desenvolvimento sustentável tem como objeto a guarda dos recursos de produção e reprodução dos seres humanos, refletindo-se, em verdade, no direito fundamental ao meio ambiente protegido. Busca garantir uma agradável relação entre os seres humanos e o meio ambiente em que vivem de molde a assegurar uma vida satisfatória às futuras gerações (FIORILLO, 2014).

Com o avanço populacional e econômico foi necessário que se objetivassem mecanismos que fossem capazes de associar o desenvolvimento da economia com a preservação da natureza de molde a não comprometer a vida humana. É assim que nasce a ideia de um desenvolvimento sustentável que se preocupa com a saúde da sociedade, objetivando e criando mecanismos para que se estabeleçam políticas públicas capazes de tornar realidade o uso dos recursos naturais de forma equilibrada. “Em outras palavras, para que o desenvolvimento seja sustentável, não basta que seja ecologicamente sustentável; deve visar igualmente às dimensões sociais, econômicas, políticas e culturais do desenvolvimento (SILVA, 2002).

Na Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), observando-se as passagens dos incisos do artigo 225 que apresentam princípios tais como a defesa do meio ambiente, a erradicação da pobreza, a redução das desigualdades regionais e sociais, é que se verifica a presença da ideia de desenvolvimento sustentável. Isto porque o referido dispositivo legal “discorre sobre o dever de todos de proteção do meio ambiente para as gerações atuais e futuras, o que é uma das finalidades do desenvolvimento sustentável” (PINTO, 2005).

De molde a corroborar o entendimento, não se pode deixar de se considerar o disposto no artigo 170, inciso VI da Carta Magna, o qual estabelece que a ordem econômica deve ser regida pelos parâmetros sociais no que tange, principalmente, ao respeito da defesa do meio ambiente

(NOLL, 2007).

Não se desconhece que a atividade econômica implica, per se, impacto ambiental (MILARÉ, 2005). Nem é possível pretender que por intermédio do direito se pretenda assegurar a oferta de produtos e serviços eliminando-se as consequências ambientais decorrente de sua produção e, mesmo, do consumo. Contudo, deve-se reconhecer como integrante da noção de qualidade de produtos e serviços o atendimento a normas ambientais que buscam controlar ou minimizar este impacto. Esta compreensão tem como fundamento técnico-jurídico a interpretação extensiva do dever de segurança imposto ao fornecedor de produtos e serviços, e da noção de risco de danos decorrentes, de modo a abranger não apenas os consumidores individualmente considerados, mas a coletividade. E, sucessivamente, não apenas os consumidores atuais, mas igualmente, as gerações futuras (MIRAGEM, 2013).

É assim que, nesse íterim, surge a premissa de que princípios e fundamentos da ordem econômica - tais como a livre iniciativa - devem ser observados em congruência com o consumo sustentável, mais especificamente com as normas de proteção ao meio ambiente, de molde que um não impeça que o outro seja desenvolvido (MILARÉ, 2005).

Sobre o tema, editou-se no direito brasileiro a Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos e impõe deveres a toda a cadeia produtiva no sentido de promover a adequada destinação dos resíduos, em especial aqueles decorrentes do consumo.

Na relação de consumo, muito embora esteja diretamente ligado com seu estado de vulnerabilidade, o consumidor pode, por outro ponto de vista, ser tido como um agente poluidor da natureza. Nesse sentido, porquanto previsto pela Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), a obrigação tanto do Estado quanto dos cidadãos para com a proteção do meio ambiente, ambos têm a responsabilidade constitucional de utilizar os instrumentos cabíveis a proteger os recursos ambientais a todos disponível.

Haja vista que tanto o Estado quanto a sociedade possuem o dever de resguardar o meio ambiente, ambos fornecedores e consumidores devem se utilizar de todos os instrumentos possíveis para que possam tutelar os valores ambientais (SOARES, 2005).

O que se pretende levar em conta é a ideia de que não é só das empresas a responsabilidade pelo desenvolvimento de um meio ambiente equilibrado. O consumidor também é responsável, uma vez que enquanto agente não vulnerável na sua relação com a natureza, tem a

obrigação social de repensar as atitudes das empresas que produzem as mercadorias e a verdadeira indispensabilidade do consumo, de molde a impedir o excesso de produção e de desperdício de resíduos sólidos (2002). É nesse sentido, também, que se perfectibiliza o entendimento de que o consumidor deve ser motivado a fazer com que o ato de compra seja igualmente um ato de cidadania para que a sociedade atual e futura não esteja comprometida com sua atitude (BRANCO, 1997).

Observa-se que o consumo sustentável traz a ideia central de que todos os indivíduos têm uma responsabilidade com as gerações futuras. Com efeito, traz à tona “o fim da reciprocidade estanque entre direitos e deveres. Em vez de antepor direitos dos consumidores a obrigações dos fornecedores, está-se diante de deveres de ambos” (ANDRADE, 2013). Assim sendo, se antigamente se pensava em consumidor como mero “objetivo” a ser conquistado pelas empresas fornecedoras dos produtos a serem consumidos, atualmente, com a crescente ideia de conscientização ambiental, observa-se cada vez mais o consumidor como sendo um agente ativo e bastante importante no que tange à redução de impactos ambientais (PANAROTTO, 2008). Esta, todavia, embora seja a iniciativa de maior destaque, é apenas parte de uma agenda mais ampla que se apresenta à interação entre o direito do consumidor e o direito ambiental.

2.3 Gestão integrada dos resíduos sólidos de Guarulhos

Após a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos em 2010, a cidade de Guarulhos tornou-se o primeiro município a submeter um plano de resíduos ao Ministério do Meio Ambiente em 2011 (LEITE e LÓCCO, 2020).

O Município de Guarulhos, visando a preservação ambiental, instituiu o Decreto nº 31513, de 26 de dezembro de 2013 (GUARULHOS, 2013). Os objetivos do Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos de Guarulhos - PGIRS são: definição da estratégia de universalização da prestação dos serviços com ações preventivas e corretivas das atividades; definição da responsabilidade compartilhada para a gestão dos resíduos públicos e privados, implantação da logística reversa, da educação ambiental e do controle social com aumento das parcerias com agentes sociais e econômicos envolvidos no ciclo de vida dos materiais; a incorporação de alternativas tecnológicas apropriadas à destinação dos diversos tipos de resíduos e a priorização da inclusão social e econômica dos

catadores de materiais recicláveis. Deu-se especial atenção à não geração dos resíduos, sua redução, reutilização, reciclagem, o tratamento e a disposição ambientalmente adequados dos rejeitos (GUARULHOS, 2013).

Os objetivos de não geração e redução de resíduos ainda estão longe de se tornar realidade no município de Guarulhos e a falta de conscientização dos moradores tem sido apontada como o principal desafio da gestão de resíduos sólidos em Guarulhos (SALVADOR et al., 2014).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho utilizou o método de levantamento e revisão bibliográfica da literatura especializada em Direito do Consumidor e Direito Ambiental, à luz da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, no período da última década, tendo como base a parte doutrinária de obras consagradas sobre o direito do consumidor com o objetivo de encontrar a fundamentação teoria da matéria da de 2013 a 2020, artigos científicos escritos no mesmo período compreendido acima, tendo como objetivo a melhor interpretação dos dispositivos legais presentes no ordenamento jurídico brasileiro.

Com a finalidade de avaliar a eficácia do Decreto nº 31513, de 26 de dezembro de 2013, que instituiu o Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos de Guarulhos (GUARULHOS, 2013), será aplicada uma análise quantitativa de quantas toneladas de resíduos sólidos urbanos eram enviadas ao aterro sanitário de Guarulhos, entre os anos 2003 a 2012; e quantas toneladas foram enviadas no período posterior à publicação do supracitado Decreto, de 2014 a 2020. O intuito é analisar se houve decréscimo no montante de resíduo encaminhado ao aterro, o que pode sugerir que parte do material reciclável ou reutilizável que no primeiro período da análise era enviado para o aterro, possa, no segundo período desta análise ter passado a receber o destino ambientalmente correto.

Os dados sobre produção diária de resíduos sólidos urbanos do Município de Guarulhos, de 2003 a 2020, foram retirados do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos, que é elaborado e publicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2022). Nos métodos quantitativos, faz-se a coleta de dados quantitativos ou numéricos por meio do uso de medições de grandezas e obtém-se por meio da metrologia, números com suas respectivas unidades. Estes métodos geram conjuntos ou massas de dados que podem ser analisados por meio de técnicas matemáticas como é o caso

das porcentagens, estatísticas e probabilidades, métodos numéricos, métodos analíticos e geração de equações e/ou fórmulas matemáticas aplicáveis a algum processo (PEREIRA et. al, 2018).

3.1 Área de estudo

Guarulhos está dividido em duas faixas predominantes de altitudes, e seu espaço geográfico com forte característica da urbanização acelerada bem como áreas voltadas à agricultura familiar, pequenos sítios, chácaras e matas preservadas miscigenando dois ambientes distintos. No extremo norte, no limite com o município de Nazaré paulista, localiza-se o Pico do Gil ou Itaberaba com 1.422 metros de altitude, comparando com o Pico do Jaraguá no município de São Paulo com 1.135 metros de altitude, Guarulhos é reconhecido como a maior elevação da Região Metropolitana de SP. A região sul é mais rebaixada em sua topografia, varia de 720 metros altitude nas margens do rio Tietê nas proximidades do bairro da Penha, e 660 metros de altitudes no limite com o Município de Arujá. (ANDRADE et. al, 2008).



O Município de Guarulhos seria facilmente confundido com um bairro de São Paulo devido a sua proximidade geográfica. Sua localização está a nordeste da Região Metropolitana de São Paulo, mais propriamente a 17 km do marco zero situado na Praça da Sé na cidade de SP (Figura 01). Seus limites confrontam com os municípios: a norte Mairiporã e Nazaré Paulista, à nordeste Santa Isabel, à leste Arujá, à sudeste Itaquaquecetuba, à sul, oeste e noroeste São Paulo (ANDRADE et al., 2008).

4. RESULTADOS

O levantamento de dados sobre a produção de resíduos sólidos urbanos em Guarulhos foi realizado através da aquisição de dados secundários elaborados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), publicados nos Inventários Estaduais de Resíduos Sólidos Urbanos.

Estes inventários são publicados, anualmente, desde o ano 2003, sendo a publicação mais recente a referente ao ano de 2020. No seu conteúdo, este documento reflete as condições técnicas dos aterros dos resíduos sólidos urbanos (RSU) dos 645 municípios do Estado de São Paulo, através do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR), que é calculado através de aplicação de questionário, durante a inspeção técnica realizada por técnico da CETESB, anualmente, em todos os locais de disposição final de RSU do Estado de São Paulo. Neste questionário são consideradas características locais, estruturais e operacionais e são expressas por meio de pontuações, que variam de 0 a 10. Além da publicação do IQR, estes inventários também trazem outra importante informação, que é a produção diária média de RSU, referente a todos 645 municípios paulistas.

Nesta presente pesquisa, foram realizados downloads dos arquivos referentes aos Inventários Estaduais de Resíduos Sólidos Urbanos de 2013 a 2020 (CETESB, 2022). Das informações contidas nestes inventários, foram retirados os dados de Guarulhos, referente ao IQR e produção média de RSU, dos dezoito relatórios que compõem o período da pesquisa.

Através da análise da produção de RSU em Guarulhos (Tabela 1), durante o intervalo de 18 anos é possível verificar que a produção teve crescimento de 770,3 Toneladas por dia (2003) para 1,531,3 Toneladas por dia (2020). Ou seja, um aumento de 761 Toneladas de RSU por dia, o que representa aumento de 98% na produção diária de RSU.

Ano	Lixo (T/DIA)
2003	770,3
2004	808,7
2005	872,4
2006	903,2
2007	935
2008	876,2
2009	890
2010	855,6
2011	869,4
2012	871,16
2013	1429,17
2014	1443,42
2015	1457,26
2016	1470,8
2017	1484,02
2018	1502,49
2019	1517,1
2020	1531,33

Tabela 1: Produção de Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Guarulhos, entre 2003 a 2020.
Fonte: CETESB (2022).

Ano	IQR
2003	9,4
2004	9,4
2005	9,4
2006	9,8
2007	9,8
2008	9,8
2009	9,8
2010	9,8
2011	9,8
2012	9,8
2013	9,6
2014	9,6
2015	9,6
2016	9,6
2017	7,9
2018	8,2
2019	9,6
2020	9,6

Tabela 2: Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) do Município de Guarulhos, entre 2003 a 2020.
Fonte: CETESB (2022).

De acordo com o estabelecido pela CETESB, os aterros que recebem notas de IQR entre zero a 7, apresentam condições técnicas e ambientais inadequadas; IQR entre 7,1 a 10,0, apresentam condições adequadas. Diante destas categorias, verifica-se que, no período analisado nesta pesquisa, o aterro sanitário de Guarulhos se manteve em condições adequadas de 2003 a 2020 (Tabela 2).

Um importante fator no quesito produção de RSU é o tamanho da população de Guarulhos. Assim, para cobrir esse fator, foi realizada uma pesquisa quantitativa sobre quão populosa estava o Município de Guarulhos nos anos compreendidos entre 2003 e 2020 (Tabela 3). Esta pesquisa foi realizada no site da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE). No ano de 2003 a população estimada de Guarulhos era de 1.121.616 habitantes; e de 1.351.275 habitantes em 2020. Ou seja, neste período de 18 anos houve um aumento de 20% da população.

Ano	População
2003	1121616
2004	1135083
2005	1148551
2006	1162018
2007	1175485
2008	1188952
2009	1202419
2010	1220653
2011	1233904
2012	1247371
2013	1260838
2014	1274305
2015	1288364
2016	1301831
2017	1315298
2018	1328765
2019	1342232
2020	1351275

Tabela 3: População estimada de Guarulhos, entre 2003 a 2020.
Fonte: SEADE (2022).

Dois destes fatores analisados foram relacionados e plotados no mesmo gráfico: População (2003 a 2020); e produção de RSU (2003 a 2020). Na Figura 2 e possível verificar que enquanto a população, no período de análise, cresce de maneira relativamente homogênea, a produção de RSU teve um aumento agudo entre os anos de 2012 a 2013, de maneira que, conforme já mencionado, enquanto a população cresceu 20% no período de análise, a produção de RSU aumentou 98%. Ou seja, tem-se aqui que ou a população de Guarulhos duplicou a sua produção de RSU; ou o aterro sanitário de Guarulhos está recebendo RSU de outros municípios. Fato é que a aterro de Guarulhos realmente passou a receber lixo de outros municípios, fato que pode trazer impactos ambientais ao Município de Guarulhos, já que pode ocorrer que a estrutura do aterro não atenda a demanda de lixo ali disposto.

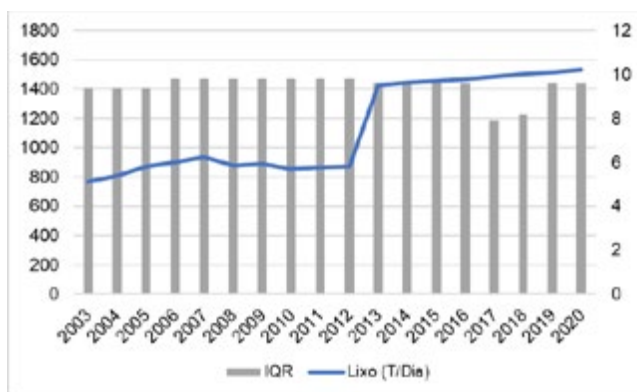


Figura 2: Relação Produção de RSU x IQR do aterro de Guarulhos
Fonte: Adaptado de CETESB (2022) e SEDAE (2022).

A importante análise que foi realizada refere-se à comparação da evolução de outro par de fatores: produção de RSU, dentro do período de análise; e os Índices de Qualidade atribuídos ao aterro do Município de Guarulhos (Figura 3).

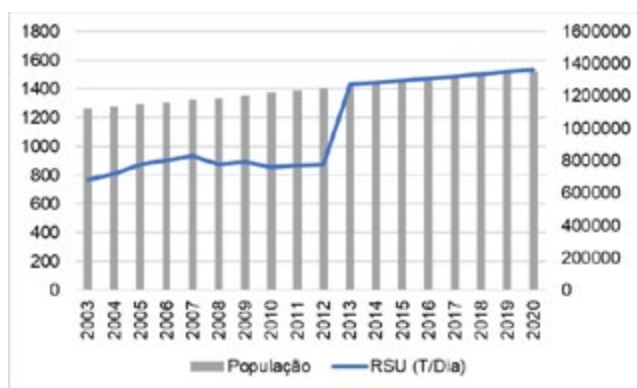


Figura 3: Relação Crescimento Populacional de Guarulhos X Produção de RSU.
Fonte: Adaptado de CETESB (2022) e SEDAE (2022).

Deslocamento em aterro sanitário de Guarulhos deixa cidade em estado de emergência

Problemas isolados na coleta de lixo podem acontecer, de acordo com a prefeitura; deslocamento aconteceu na sexta-feira (28).

Por *Andressa Rogê* e *Giba Bergamin*, SP1 e G1 — São Paulo
31/12/2018 10h26 - Atualizado há 5 anos



Figura 4: Notícia sobre o evento ocorrido no aterro sanitário de Quitaúna, que recebe os RSU de Guarulhos.

Fonte: (G1, (2022)).

É possível verificar na Figura 3 que, enquanto a produção de RSU de Guarulhos apresenta crescimento de 2012 a 2020, o IQR teve uma queda entre os anos 2017 e 2018, chegando a valores de 7,9 e 8,2, respectivamente. Este decréscimo do IQR, nestes dois anos, pode ser explicado por problemas técnicos que o aterro sanitário de Quitaúna, localizado no Município de Guarulhos, sofreu no período, que resultaram no deslocamento de uma massa de lixo no dia 28 de dezembro de 2018, quando a prefeitura decretou estado de emergência, devido a uma grande parte do lixo do aterro ter ficado exposta (Figura 4). A partir da data do ocorrido, e que perdurou por alguns meses, a coleta de lixo da cidade foi comprometida (G1, 2022).

4.1 A efetividade do Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos de Guarulhos

A destinação final dos resíduos sólidos gerados nas cidades e áreas industriais requer cada vez mais a participação de todos os setores da sociedade para que se estabeleça um ciclo produção-disposição final adequado, devido ao fato de gerar impactos na área ambiental, social e econômica e é claro que soluções políticas só podem ser concretizadas com base técnica adequada e meios científicos (Dalmas et al., 2011, Freitas e Bulbovas, 2020).

Entre as metas definidas no Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos de Guarulhos, em relação especificamente aos RSU, que deveriam ter sido estabelecidas gradativamente até 2020, destaca-se: implantação de processos biológicos de redução dos resíduos; e redução do volume disposto em aterro sanitário.

Estas duas supracitadas metas não foram implementadas até 2020, para a redução da produção de RSU. Pelo contrário, o que se verifica é o aumento de Resíduos Sólidos Urbanos gerados pelo município e enviado ao aterro sanitário.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível constatar que houve o aumento de consumo pela sociedade, mas um desprestígio com o consumo sustentável, não atingindo o comando legal de proteção ao Meio Ambiente, apresentado em profusão em nosso Estado Democrático, através das Constituição Federal (BRASIL, 1988), pelo Código de Defesa do Consumidor (BRASIL, 1990), pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) e pelo Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos do Município de Guarulhos, Decreto nº 31513, de 26 de dezembro de 2.013 (GUARULHOS, 2013).

Isso porque, segundo dados coletados e analisados, a política do consumo sustentável através da logística reversa dos resíduos sólidos, com objetivo de gestão e gerenciamento de coleta, reuso, redução e reciclagem de determinados resíduos, ensinaria um consumo sustentável, convocando o consumidor a participar como ator principal desse processo, fazendo com que houvesse uma diminuição de resíduos no aterro sanitário do Município de Guarulhos. Entretanto, a produção de RSU no município apresentou crescimento de 2012 a 2020, desproporcional ao crescimento populacional, sendo muito maior o crescimento daquele em relação a este, e o IQR apresentou uma queda entre 2017 e 2018, chegando a valores de 7,9 e 8,2, respectivamente. foram ensejados por problemas técnicos que o aterro sanitário do Município de Guarulhos, sofreu no período, que resultaram no deslocamento de uma massa de lixo no dia 28 de dezembro de 2018, comprometendo por alguns meses a coleta de lixo da cidade.

Registre-se que entre as finalidades definidas no Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos de Guarulhos, em relação especificamente aos RSU, que deveriam ter sido aplicadas gradativamente até 2020, com a implantação de processos biológicos de redução dos resíduos e redução do volume disposto em aterro sanitário, não foram atingidas, inclusive recebendo resíduos de outros municípios.

Esse descumprimento, se dá por má gestão pública, que não prioriza o consumo sustentável, colocando-se os interesses pessoais e econômicos à frente dos públicos e ambientais. Dessarte, surge como solução para dirimir os problemas apresentados no aterro do Município de Guarulhos, desde que observados o objetivos previsto no Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos do Município de Guarulhos, tais como a educação ambiental, inclusive com a proliferação da ideia da logística reversa, do controle social com aumento das parcerias com

agentes sociais e econômicos envolvidos no ciclo de vida dos materiais, daria possibilidade de redução e não geração dos resíduos, sua redução, reutilização, reciclagem, tendo como corolário o tratamento e a disposição ambientalmente adequada dos rejeitos.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M.D et al. **Guarulhos tem história- Questões sobre história natural, social e cultural**. São Paulo: Ananda Gráfica e Editora, 2008.

ARAÚJO, A.; OLIVEIRA, V. M.; CORREIA, S. E.N. Consumo sustentável: Evolução temática de 1999 a 2019. **RAM. Revista de Administração Mackenzie**, v. 22, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-6971/eRAMG210209>

BRANCO, S. M. **O meio ambiente em debate**. 26. ed. São Paulo: Moderna. Coleção Polêmica. p. 44. 1997.

BRASIL: **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm

BRASIL, **Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

BRASIL, **Lei nº 8.078, de 11 de Setembro de 1990**. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8078.htm

BRASIL, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial e Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor – IDEC. **Meio ambiente e consumo**. Brasília: INMETRO/IDEC, Coleção Educação para o Consumo Sustentável. p. 44. 2002.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2022. PUBLICAÇÕES E RELATÓRIOS: **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 25/03/2022.

DALMAS, F. B., GOVEIA, S. S., OLIVEIRA, F. R., AMARAL, C. H., MACEDO, A. B. Geoprocessamento aplicado à

gestão de resíduos sólidos na UGRHI-11–Ribeira de Iguape e Litoral Sul. **Geosciences= Geociências**, 30(2), 285-299. 2011.

FIORILLO, C. A. P. **Curso de direito ambiental brasileiro**. São Paulo: Saraiva, 2003. Poluição sonora de veículo automotor, p27, 2014.

FREITAS, G. S.; DALMAS, F. B. Quantitative analysis of mortar waste in civil construction in Brazil between the years 2009 and 2018. **Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id5484>

FREITAS, G. S., BULBOVAS, P. Os avanços da conscientização a respeito da coleta dos resíduos sólidos na construção civil. **Revista Geociências-UNG-Ser**, 19(1), 15-21. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33947/1981-741X-v19n1-4426>

FREITAS, G. S.; BULBOVAS, P.; ARRUDA, R. de O. M. Percepção do conhecimento sobre resíduos sólidos da construção civil por graduandos e graduados em engenharia civil. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 305–319, 2021. DOI:<https://doi.org/10.34024/revbea.2021.v16.11708>.

G1. **Deslocamento em aterro sanitário de Guarulhos deixa cidade em estado de emergência**. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2018/12/31/deslocamento-de-aterro-sanitario-em-guarulhos-deixa-cidade-em-estado-de-emergencia.ghtml>>. Acesso em: 25/03/2022.

GUARULHOS, **Decreto nº 31.513, de 26 de dezembro de 2.013**. Aprova o Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos de Guarulhos – PGIRS e dá outras providências. Disponível em: <https://leis.guarulhos.sp.gov.br/06_prefeitura/leis/decretos_2013/31513decr.pdf> Acesso em 26.03.2022.

HOLANDA, F. C. C.; DE FREITAS, A. V. P. DO “HOMO CONSUMERICUS” AO SER BIOÉTICO: A FUNÇÃO SOCIAL DOS CONTRATOS DE CONSUMO SOB O VIÉS DA PROTEÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Revista Brasileira de Direito Animal**, Salvador, v. 15, n. 1, 2020. DOI: 10.9771/rbda.v15i1.36237. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/RBDA/article/view/36237>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB)**. Rio de Janeiro, IBGE: 2002. Disponível em: www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb/pnsb.pdf Acesso em 26.03.2022

JAYME, E. Direito Internacional Privado e Cultura Pós-Moderna (1996). **Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito–PPGDir./UFRGS**, v. 1, n. 1, 2003.

LEITE, C. K. S.; LÓCCO, L. G. Atores, comunidades epistêmicas e mudança política: análise da política de resíduos sólidos em Guarulhos (SP). **Ambiente & Sociedade**, v. 23, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190024r2vu2020L6AO>

MACHADO, P. A. L. **Direito Ambiental Brasileiro**. 18a. São Paulo: Editora Malheiros, 2007.

MARQUES, C. L. (Ed.). **Diálogo das fontes: do conflito à coordenação de normas do direito brasileiro**. Editora Revista dos Tribunais, 2014.

MARQUES, C. L. Atualização do Código de Defesa do Consumidor e o diálogo entre o direito do consumidor e o direito ambiental: estudo em homenagem à Eládio Lecey. In: Congresso Brasileiro de Direito Ambiental: ambiente, sociedade e consumo sustentável [recurso eletrônico]/20. Congresso Brasileiro de Direito Ambiental. 2015.

MILARÉ, É. **Direito do Ambiente: doutrina, prática, jurisprudência**, glossário 4ª ed. São Paulo: RT, 2005.

MIRAGEM, B. Consumo sustentável e desenvolvimento: por uma agenda comum do direito do consumidor e do direito ambiental. **Revista do Ministério Público do RS**. Porto Alegre, v. 74, p. 229-244, 2013.

MIRAGEM, B. **Premissas sobre tragédias evitáveis pelo Direito Ambiental e do Consumidor**. Consultor Jurídico. Disponível em < <https://www.conjur.com.br/2019-fev-06/garantias-consumo-tragedias-evitaveis-direito-ambiental-consumidor>>. Acesso em 30/03/2022.

NOLL, P.; NICOLETTO, R. L. Princípios constitucionais de Direito Ambiental e desenvolvimento sustentável.

Revista Faculdade de Direito, Caxias do Sul: Educs, v. 01, n. 18, p. 81-98, 2007. p. 93.

PALOMBINI, L.; CIDADE, K. Lixo invisível: contribuição do design para recuperação de materiais problemáticos: invisible waste: design's contribution for the recovery of problematic materials. **MIX Sustentável**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 17-26, 2022. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n1.17-26.

PANAROTTO, Cíntia. O meio ambiente e o consumo sustentável: alguns hábitos que podem fazer a diferença. **Revista das relações de consumo**. Caxias do Sul, 2008.

PEREIRA, A. S. et al. **Metodologia da pesquisa científica**. 2018.

PINTO, B. G. C. A Conexão entre Princípios do Direito Ambiental e o CDC. **Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito**—PPGDir./UFRGS, v. 3, n. 6, 2005.

SALVADOR, R. et al. Resíduos sólidos e sustentabilidade: O caso do município de Guarulhos. In: **FAGES-GESTÃO PÚBLICA PRESENCIAL**. 2014.

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Perfil dos Municípios Paulistas: Guarulhos**. Disponível em: <https://perfil.seade.gov.br/>

SIMÃO, N. M.; NEBRA, S. A.; SANTANA, P. H. de M. A educação para o consumo sustentável como estratégia para redução de resíduos sólidos urbanos / Education for sustainable consumption as a strategy for reducing urban solid waste. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 1007-1020, 2021. DOI: 10.34188/bjaerv4n1-082.

SOARES, I. V. P. Meio ambiente e relação de consumo sustentável. **Boletim Científico Escola Superior do Ministério Público da União**, n. 17, p. 33-60, 2005.

TRAJANO, F. S. O princípio da sustentabilidade como princípio fundamental constitucional e das relações de consumo. **Atuacao**, v. 18, p. 205, 2011.

AUTORES

ORCID: 0009-0003-2467-6347

AGEU CAMARGO. Mestre. Universidade Guarulhos. Programa de Mestrado em Análise Ambiental. Universidade Guarulhos.. Guarulhos, SP. Correspondência para Praça Tereza Cristina, nº 88. Guarulhos/SP. CEP: 07023-070. e-mail: adv.ageu@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7221-7351

GABRIEL SOUSA DE FREITAS. Mestre. Universidade Guarulhos. Programa de Mestrado em Análise Ambiental. Universidade Guarulhos.. Guarulhos, SP. Correspondência para Praça Tereza Cristina, nº 88. Guarulhos/SP. CEP: 07023-070. e-mail: gsousadefreitas@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6477-4580

MÁRCIO MAGERA CONCEIÇÃO. Doutor. Programa de Mestrado em Análise Ambiental. Universidade Guarulhos.. Guarulhos, SP. Correspondência para Praça Tereza Cristina, nº 88. Guarulhos/SP. CEP: 07023-070. e-mail: magera1963@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7547-6642

FABRÍCIO BAU DALMAS. Doutor. Programa de Mestrado em Análise Ambiental. Universidade Guarulhos.. Guarulhos, SP. Correspondência para Praça Tereza Cristina, nº 88. Guarulhos/SP. CEP: 07023-070. e-mail: fdalmas@prof.ung.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

CAMARGO, Ageu; FREITAS, Gabriel Sousa; CONCEIÇÃO, Márcio Magera; DALMAS, Fabrício Bau. **MIX Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 173-185, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.173-185>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.173-185).

SUBMETIDO EM: 26/06/2023

ACEITO EM: 13/01/2024

PUBLICADO EM: 10/05/2024

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRediT Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

AC: Conceituação, análise formal, investigação, metodologia, supervisão, escrita - rascunho original.

GSF: Curadoria de dados, metodologia, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição.

MMC: Análise formal, validação.

FBD: Conceituação, curadoria de dados, investigação, metodologia, supervisão, escrita - rascunho original, escrita revisão e edição.

Conflict declaration: nothing has been declared.

UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS NOS SISTEMAS DE MACRODRENAGEM DA CIDADE DO RECIFE-PE

USE OF MOBILE DEVICES IN MACRO DRAINAGE SYSTEMS IN THE CITY OF RECIFE-PE

USO DE DISPOSITIVOS MÓVILES EN LOS SISTEMAS DE MACRODRENAJE EN LA CIUDAD DE RECIFE-PE.

DAMIRES BRAZ DA SILVA. | UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

CINTIA RAFAELA LIMA DOS SANTOS, MSc. | UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

WILLAMES DE ALBUQUERQUE SOARES, Dr. | UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

RESUMO

Os caminhos que circulam as águas pluviais são de suma importância para um sistema de drenagem urbana, uma vez que sua principal funcionalidade é capturar e controlar o volume de água transportada do solo para a rede existente, até sua chegada nos rios e mares. Com a urbanização desordenada, o volume de lixo produzido cresce e os sistemas de escoamento são prejudicados. Deste modo, o presente trabalho apresenta dispositivos criados e implantados no grupo de macrodrenagem na cidade do Recife. Estruturas flutuantes, nomeadas por ecobarreiras, foram instaladas transversalmente nas calhas dos canais (Setúbal, Jordão e Vasco da Gama), nos trechos próximos à foz, com o objetivo de reter o lixo flutuante, removê-los e dar a destinação adequada. Os resultados obtidos se mostraram convincentes, uma vez que com a implantação de uma quantidade mínima de dispositivos, foram removidos mais de setecentos mil quilogramas de detritos, que obstruiriam o principal sistema de drenagem, e assim, provocariam maiores transtornos às populações das planícies urbanas, associados ainda às doenças de veiculação hídrica e a poluição das águas urbanas.

PALAVRAS CHAVE

Águas pluviais; Transtornos; Ecobarreira.

ABSTRACT

The paths that circulate rainwater are of paramount importance for an urban drainage system, since their main function is to capture and control the volume of water transported from the ground to the existing network, until it reaches the rivers and seas. With disorderly urbanization, the volume of waste produced grows and the drainage systems are impaired. Thus, the present work presents devices created and implemented in the macro drainage group in the city of Recife. Floating structures, named for eco-barriers, were installed transversely in the gutters of the channels (Setúbal, Jordão and Vasco da Gama), in the stretches close to the mouth, with the aim of retaining floating garbage, removing it and giving it an appropriate destination. The results obtained were convincing, since with the implantation of a minimum number of devices, more than seven hundred thousand kilograms of debris were removed, which would obstruct the main drainage system, and thus, would cause greater inconvenience to the populations of the urban plains, associated with waterborne diseases and urban water pollution.



KEY WORDS

Rainwater; Disorders; Eco barrier.

RESUMEN

Las vías por las que circulan las aguas pluviales son de suma importancia para un sistema de drenaje urbano, ya que su función principal es capturar y controlar el volumen de agua transportado desde el suelo hasta la red existente, hasta su llegada a los ríos y mares. Con la urbanización desordenada, el volumen de basura producida aumenta y los sistemas de drenaje se ven perjudicados. Por lo tanto, este trabajo presenta dispositivos creados e implementados en el grupo de macro drenaje en la ciudad de Recife. Se instalaron estructuras flotantes, llamadas eco-barreras, transversalmente en los canales (Setúbal, Jordão y Vasco da Gama), en tramos cercanos a la desembocadura, con el objetivo de retener la basura flotante, removerla y darle un destino adecuado. Los resultados obtenidos fueron convincentes, ya que con la implementación de una cantidad mínima de dispositivos, se eliminaron más de setecientos mil kilogramos de desechos que obstruirían el principal sistema de drenaje y, por lo tanto, causarían mayores trastornos a las poblaciones de las llanuras urbanas, asociadas además con enfermedades transmitidas por el agua y la contaminación de las aguas urbanas.

PALABRAS CLAVE

Aguas pluviales; Trastornos; Ecobarrera.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional desordenado, na capital pernambucana tem produzido grandes transtornos na infraestrutura de recursos hídricos. Um dos principais prejudicados tem sido o sistema principal de escoamento de águas pluviais, mas conhecido com drenagem urbana, de modo que o tempo de vida útil destas estruturas tem regredido, gerando um aumento na constância e magnitude dos alagamentos. Atualmente, um dos fatores relevantes dos centros metropolitanos é o destino dado aos resíduos sólidos, produzidos pela população que a cada dia tende a se concentrar mais nas cidades. Desta forma, torna-se cada vez mais desafiador a gerência junto aos órgãos públicos, tendo em vista o crescimento exponencial nas áreas ribeirinhas.

Sousa et al. (2020), relatam que os países em desenvolvimento enfrentam enormes desafios como resultado do aumento da produção de resíduos sólidos, atribuídos principalmente ao crescimento da população urbana. O processo de expansão das cidades resulta em maiores necessidades quanto à utilização dos recursos naturais, levando ao adensamento populacional, ocupação das margens dos rios e ao assentamento irregular da população nestes locais.

A degradação do meio ambiente e de seus recursos naturais se agravam com as ocupações irregulares nas margens dos rios, o lançamento de esgoto doméstico e dos resíduos sólidos, que em grande volume vem obstruindo os canais e as redes de drenagem urbana, provocando alagamentos e assoreamento nestes cursos d'água (PINHO, 2019).

Há mais de dez anos Hoffmann; Miguel e Pedroso (2011) discutiram sobre a importância do planejamento urbano e da gestão ambiental, colocando em pauta um dos maiores desafios nas administrações das cidades, que é o avanço sem controle dentro das metrópoles, que tem sido cada vez mais intenso. Modificando as qualidades originais das cidades e desta maneira, criando uma diferença com o plano diretor, tornando cada vez mais difícil o processo de melhoria e transformação do bem-estar.

Além do crescimento desordenado, o descarte irregular de resíduos acompanha esta curva de ascensão. O Brasil é o quarto país que mais produz lixo em todo o mundo. Só no ano de 2016 foram produzidos mais de 78 milhões de 10^3 kg de lixo urbano. Se nenhuma mudança acontecer nos próximos anos, até 2030 teremos uma média de 104 milhões de 10^3 kg de plástico poluindo todo o nosso ecossistema (WWF, 2019).

Em 2020, Swanepoel, Barnardo e Marlin (2020), analisaram os dispositivos instalados no canal de águas pluviais Motherwell e canais Uitenhage na região metropolitana de Nelson Mandela, África do Sul. Os autores destacaram que diversos são os tipos de dispositivos que podem ser implantados ao longo das calhas dos canais, mas vários fatores influenciam na eficácia do elemento como a frequência da limpeza, a variação do nível da água e o volume de resíduos removidos, a importância de se estudar a sistemática da bacia hidrográfica e seus contribuintes para identificar a melhor forma de reduzir os transtornos causados pelo lixo.

O aumento da moradia da população em áreas não edificantes interfere nos elementos do ciclo hidrológico, alterando as características da infiltração, o escoamento e evaporação da água oriunda da chuva, causando grandes transtornos em dias de fortes precipitações (Holanda; Soares, 2019). Para determinar quais as metodologias são utilizadas mundialmente para mitigar os alagamentos, Wang et al. (2021) realizaram uma revisão sistemática de literatura. Eles perceberam que as técnicas variam de acordo com o desenvolvimento de cada país, principalmente devido aos custos envolvidos nas intervenções necessárias. Para a China, o trabalho aponta que a melhor alternativa para reduzir a poluição à jusante resultaria em um melhor desempenho e eficiência do sistema de drenagem das águas pluviais.

Vale ressaltar que os materiais acumulados nas bacias urbanas não são apenas esteticamente desagradáveis, mas também provocam efeitos ambientalmente ameaçadores para o equilíbrio natural, além de impedir o desempenho hidráulico do sistema de drenagem urbana (NOOR et al. 2016).

Nichols e Luck (2016) avaliaram a eficácia de um tipo de dispositivo que retém os resíduos e auxilia no tratamento primário de águas pluviais (Gross Pollutant Trap - GPT), e que tem sido amplamente utilizado em bacias urbanas. A pesquisa foi realizada durante o período de um ano no Estado de Queensland, Austrália. Eles confirmaram uma boa eficiência tanto na retenção quanto na remoção de poluentes após o tratamento pelo dispositivo.

Guedes; Araujo e Andrade (2021) atestam sobre a relevância de uma gestão aplicada com o olhar para a parte hídrica da cidade, tendo em vista a fragilidade em dias de fortes precipitações, ratificando sobre a publicação dos planos diretores, minimizando os transtornos e projetando soluções para os pontos críticos de alagamentos, que cresce na Região Metropolitana do Recife (RMR) em consequência da densidade populacional que expande sem

controle, prejudicando assim a estabilidade ambiental.

Os transtornos na Cidade do Recife, além dos dias de precipitações intensas, é consequência de um conjunto de fatores que modificam a geografia do sistema de macrodrenagem, se tornando refém desses sistemas de ocupações desordenadas. O percentual de área impermeabilizada só cresce, fazendo uma conversão da vista natural para apropriação de casas irregulares, tornando cada vez mais difícil a drenagem das águas pluviais, sendo ainda o principal agente na produção de efluentes (SILVA JUNIOR, 2016).

Moura et al. (2019), realizaram uma análise das condições do sistema de macrodrenagem da cidade do Recife-PE sob a ótica do tripé da sustentabilidade, de maneira a identificar os principais pontos críticos para o desempenho sustentável do sistema e sugerir eventuais medidas mitigadoras. Para tal, foram utilizados como elementos de estudo cinco canais da cidade. Eles concluíram que o aprimoramento das medidas estruturais e não estruturais deve ser contínuo, e avaliações transdisciplinares devem ser realizados de forma conjunta, entre a sociedade e o Poder Público, refletindo um ganho direto de qualidade de vida para a população, melhoria do meio ambiente e economia futura para os cofres da cidade, sendo em sua maioria de fácil execução.

Nesse contexto o presente trabalho visa apresentar dispositivos confeccionados e utilizados no sistema de macrodrenagem desta grande metrópole, a fim de reter os resíduos urbanos flutuantes, proporcionando um melhor escoamento das águas pluviais dentro destas estruturas, além de fornecer uma destinação adequada para o material capturado.

2. METODOLOGIA

A área plana do município compreende 51% do território e se caracteriza como uma planície estuarina, cortada pelos rios Beberibe, Capibaribe, Jiquiá, Jordão, Tejipió e Jaboatão e seus afluentes em número de 99 canais (noventa e nove), com extensão total de 132,79 km. A malha da macrodrenagem compreende o sistema as diversas estruturas hidráulicas, tais como: canais, córregos e rios, ela é jusante das redes de microdrenagem existentes e implantadas ao longo de várias décadas (EMLURB, 2016). Será apresentado o local de estudo e os dispositivos criados, com base em estruturas já existentes, adaptadas para realidade da urbanização dos locais estudados na capital pernambucana. Os pontos de implantação foram definidos juntamente com a Secretaria de Infraestrutura, através da Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB), da Prefeitura do Recife.

2.1 Caracterização da área em estudo

O estudo foi realizado na Cidade de Recife, capital do estado de Pernambuco, (Figura 01). Localizada nas coordenadas: latitude 8° 04' 03" S e longitude 34° 55' 00" O, altitude: 4m. A cidade litorânea contempla uma superfície territorial de 218,50 km², com 1.537.704 habitantes e densidade demográfica de 7.037,61 hab/km² (IBGE, 2010). As regiões onde foram implantados os dispositivos de retenção ficam localizadas em vários bairros da Cidade do Recife, de acordo com a distribuição que pode ser visualizada no recorte da Figura 01, tendo em vista a quantidade de resíduos existentes na via e a recorrência na limpeza nestes elementos.

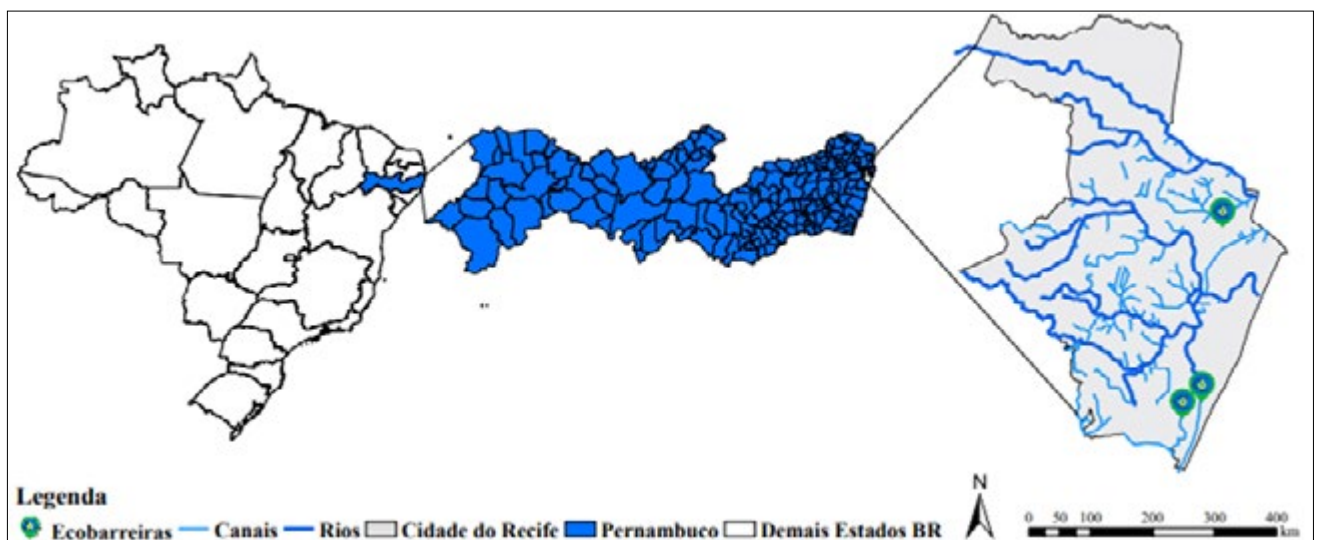


Figura 01 - Mapa do Brasil, com ênfase na cidade do Recife, e destaque para os locais onde as ecobarreiras foram instaladas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2 Ecobarreiras

Diversas metodologias para a coleta de resíduos sólidos têm sido utilizadas, o método de limpeza dos canais através das ecobarreiras é bastante interessante, pois através da implantação destes dispositivos, instalados transversalmente nas paredes do curso d'água, próximos à foz, o lixo flutuante fica retido, impedindo que estes materiais sejam lançados nos rios e nos mares, diminuindo assim os impactos ambientais.

A ecobarreira é um sistema composto por: flutuadores que acompanham a variação de maré, através de um cabo de aço envelopado de 3/16 que auxilia no manuseio do dispositivo, fixados ao cabo têm-se um vergalhão em aço do tipo (CA-60 6.3), em formato de "L" com altura de 0,50cm como objetivo de reter os resíduos sólidos flutuantes que circulam no canal, podendo ser visto no detalhe (DET 02) da Figura 02. Ela é fixada por quatro pontos de apoio em aço, ancorados no perímetro do canal. Através da movimentação do cabo é possível enviar os resíduos para próximo da parede, e iniciar a remoção. Tendo ainda em sua estrutura um cabo guia de retorno, para voltar ao seu lugar de origem sem que nenhuma pessoa entre na calha do canal.

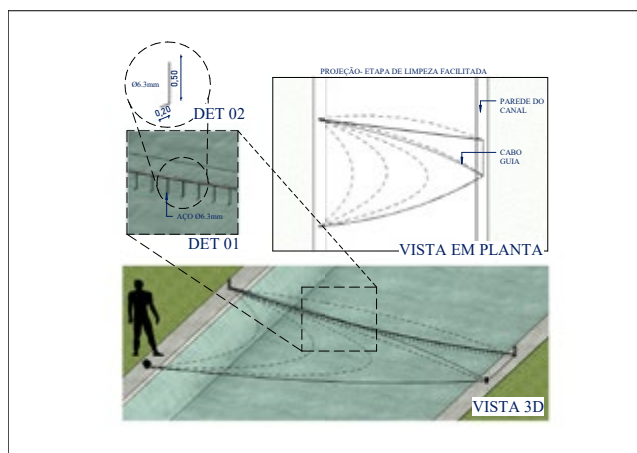


Figura 02 - Vista, Projeções e Detalhamento da Ecobarreira.

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.3 Remoções das Ecobarreiras, análise comparativa e custos operacionais

O recolhimento do resíduo ocorreu semanalmente, com no máximo três funcionários capacitados e dimensionados, com duração estimada de 2h para finalização da remoção do lixo de dentro da calha do canal (Figura 03). A programação de limpeza é realizada de acordo com as variações de maré, tendo em vista que nas marés chamadas de sigízia, com maiores amplitudes, retira-se uma quantidade superior de lixo do que em marés baixa. O resíduo

coletado é descartado de forma adequada para a Central de Tratamento de Resíduos (CTR) no bairro de Candeias.



Figura 03 - Remoção dos resíduos na ecobarreira do Canal do Jordão.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a realização de implantação das ecobarreiras, foram realizadas análises comparativas, através do peso do material removido de cada canal. A massa de resíduos foi pesada semanalmente e comparada em relação aos anos anteriores que não tinham este tipo de dispositivo nos cursos d'água. Também foi verificado por registros o comportamento destes afluentes em dias de fortes precipitações.

Antes da implantação dos dispositivos era realizada anualmente a atividade de limpeza nos canais, que compõem o sistema de macrodrenagem da Cidade de Recife, onde se fazia necessário uma equipe padrão, composta com maquinários do tipo: retroescavadeira, escavadeira hidráulica, caminhões basculantes, caçambas estacionárias, além de 15 ajudantes e um encarregado, para limpeza da rede de macrodrenagem e com uma duração estimada para realização desta intervenção, de no mínimo 60 dias. Após a implantação das ecobarreiras, com no

máximo três pessoas foram realizadas semanalmente as remoções dos resíduos capturados e destinados para o aterro credenciado.

3. RESULTADOS

Existem varias localizações na Cidade do Recife, onde tem a recorrências de pontos de alagamento, são os locais preocupantes, decorrente de fatores como: subdimensionamento do sistema para os tempos atuais, ou pela má execução do mesmo, deixando obstruído com lixo que são lançados erroneamente. Baseados no fator do resíduo foram selecionados os locais para implantação dos dispositivos em estudo.

3.1 Montagem e Preparações dos locais dispositivos das ecobarreiras

Para montagem da ecobarreira foram utilizados, cabo de aço envelopado, material flutuante e ganchos de aço 6,3 em formato de "L", conforme Figura 04 e Figura 05.



Figura 04 -Montagem da Ecobarreira.

Fonte: Elaborado pelos autores.



Figura 05 - Detalhe do ponto de fixação das Ecobarreiras.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A princípio o cabo de aço foi fixado em pontos de apoio, transversalmente na parede do canal, apenas um ponto fica fixo, durante a limpeza soltam-se os 2 pontos do cabo de aço, o quarto ponto é onde existe a movimentação, com isso o cabo vem fazendo a varredura do resíduo trazendo-o para a parede do canal, conforme Figura 06. Com o lixo retido na margem no canal é possível fazer a retirada desses através de equipamentos de limpeza (Figura 07), evitando que o colaborador entre no canal.



Figura 06 - Material espreado na parede do canal, para ser removido no Canal do Setúbal.

Fonte: Elaborado pelos autores.



Figura 07 - Ferramentas utilizadas para as limpezas das Ecobarreiras.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 Primeira Ecobarreira – Canal de Setúbal

No mês de abril de 2021, foi instalada a primeira ecobarreira na Cidade do Recife, a implantação foi no sistema de macrodrenagem no canal de Setúbal, por ter uma contribuição muito acentuada de resíduos circulando em todo seu perímetro. O dispositivo possui algumas vantagens, como: baixo custo de execução; redução de pontos críticos de alagamento, destinação adequada para o lixo, evita que os resíduos cheguem aos rios e mares, dentre outras. Para sinalizar de forma mais clara e didática, foi instalado um totem paralelo ao local da ecobarreira em caráter informativo. Após 21 meses de implantação da ecobarreira no canal do Setúbal, foram removidos mais de 300 10³kg de lixo, seu principal objetivo é reter o resíduo flutuante, impedindo transtornos para o meio urbano e para o ecossistema, na Figura 08 pode ser verificado os volumes das remoções realizadas ao longo dos 16 meses.

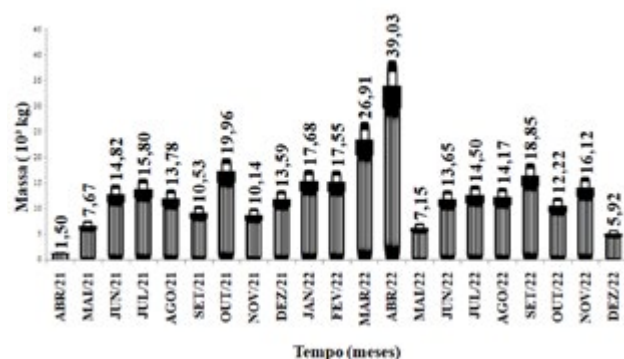


Figura 08 - Remoções na Ecobarreira do Canal de Setúbal.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3 Segunda Ecobarreira – Canal do Jordão

A ecobarreira do canal do Jordão foi instalada dois meses após a primeira implantação deste dispositivo, próximo ao túnel Prefeito Augusto Lucena no município em estudo. Desde a sua implantação foram removidos mais de

200 10³kg de lixo, conforme Figura 09.

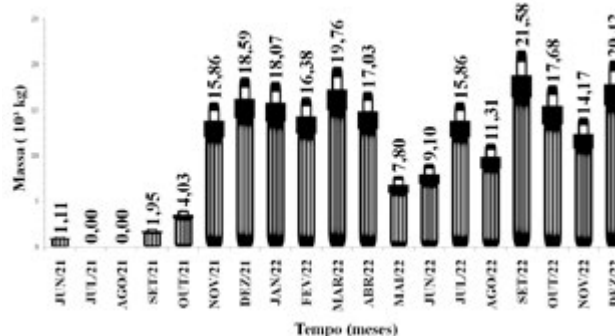


Figura 09 - Remoções na Ecobarreira do Canal Jordão.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A remoção foi realizada semanalmente, devido à grande quantidade de resíduos flutuantes que circulam por este curso hídrico, visando à melhoria contínua, foi executada uma plataforma de concreto armado fixada na parte revestida do canal para facilitar a retirada do lixo acumulado, tendo em vista que a parede é inclinada e dificulta a execução serviço. A população no entorno (catadores) remove a parte reciclável retida na ecobarreira do Jordão para revenda, na Figura 10 pode ser visualizado a plataforma executada para auxiliar na limpeza das ecobarreiras.



Figura 10 - Plataforma de acesso, criada para auxiliar o processo de limpeza das ecobarreiras.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.4 Terceira Ecobarreira – Canal do Vasco da Gama (Arruda)

A ecobarreira do canal do Vasco da Gama foi instalada no mês de junho/2021, no trecho em frente a um estádio de futebol, o ponto escolhido recebe contribuições dos canais da Bomba do Hemetério e do canal do Jacaré, sendo furada em meados de agosto/2021 e foi reimplantada no mesmo local. Até o mês de dezembro do ano de 2022 já

foram removidos mais de 200 10³kg de resíduos flutuantes da calha do canal, conforme resultados na Figura 11.

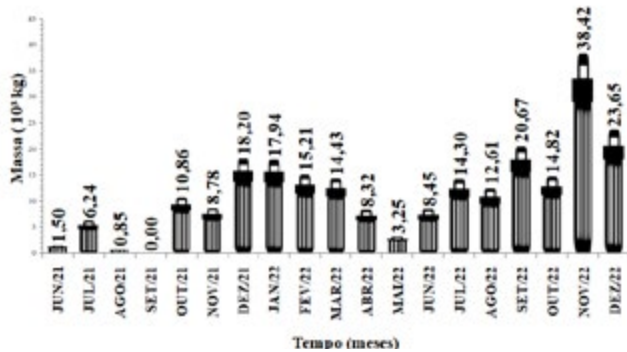


Figura 11 - Remoções na Ecobarreira do Canal do Vasco da Gama (Arruda).

Fonte: Elaborado pelos autores.

O lixo recolhido do canal é de material muito variado, sendo em sua grande maioria constituído de Polietileno Tereftalato (PET), conforme pode ser observado na Figura 12, apresentando uma alteração muito grande, desde restos mortais de animais até móveis de casa, estes materiais são um dos principais responsáveis por obstruções nas estruturas hidráulicas, causando transtornos e danos incalculáveis em dias de fortes precipitações de chuvas.



Figura 12 - Ecobarreira em funcionamento (A), remoção dos resíduos (B) e finalização da limpeza (C) no Canal do Vasco da Gama (Arruda) em Recife.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.5 Comparações do desempenho das ecobarreiras

Implantadas em 2021 na capital pernambucana, as ecobarreiras trouxeram resultados muito positivos, os dispositivos instalados nos canais impediram que mais de 750 10³ kg de lixo flutuante chegassem aos mares e rios, conforme valores descritos na Tabela 1. Os resultados corroboraram para ampliação do projeto com a implantação de mais sete ecobarreiras, totalizando dez dispositivos implantados na cidade.

Mês	Setúbal (10 ³ kg)	Jordão (10 ³ kg)	Arruda (10 ³ kg)
2021			
Abril	1,50	-	-
Mai	7,67	-	-
Junho	14,82	1,11	1,50
Julho	15,80	0,00	6,24
Agosto	13,78	0,00	0,85
Setembro	10,53	1,95	0,00
Outubro	19,96	4,03	10,86
Novembro	10,14	15,86	8,78
Dezembro	13,59	18,59	18,20
2022			
Janeiro	17,68	18,07	17,94
Fevereiro	17,55	16,38	15,21
Março	26,91	19,76	14,43
Abril	39,03	17,03	8,32
Mai	7,15	7,80	3,25
Junho	13,65	9,10	8,45
Julho	14,50	15,86	14,30
Agosto	14,17	11,31	12,61
Setembro	18,85	21,58	20,67
Outubro	12,22	17,68	14,82
Novembro	16,12	14,17	38,42
Dezembro	5,92	20,42	23,65
Total	311,52	230,70	238,48
Total Geral	780,70		

Tabela 1- Controle de retiradas dos resíduos sólidos nas Ecoarreas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou o volume dos resíduos retirados, nos dispositivos implantados como um tipo de técnica mitigadora para alagamentos, onde grandes volumes de lixo obstruem as passagens da água de chuva. O objetivo principal dessa pesquisa foi à coleta de dados relacionados às remoções, para melhoria da funcionalidade dos sistemas de drenagem e também do ecossistema.

Para atendimento do sistema de macrodrenagem, as ecoarreas implantadas nas calhas dos canais, impediram que mais de 750 10³ kg de resíduo flutuante chegassem aos rios e nos mares, melhorando ainda o fluxo do escoamento das águas pluviais.

Diante dos resultados desta pesquisa, é possível

concluir que os dispositivos móveis implantados nos sistemas de macrodrenagem na Cidade do Recife se mostraram bastante satisfatórios, para retenção dos detritos flutuantes que circulam de maneira arbitrária, impedindo que estes materiais causem transtornos e avancem para os rios e os mares. Ao analisar os gráficos com os volumes retirados, verifica-se que a quantidade de lixo é bastante expressiva, com uma quantidade reduzida de dispositivos implantados, em dias de maré alta o volume retirado cresce ainda mais. É possível salientar que além de conter um aspecto sustentável, o tema estudado também trata de sociedade e saúde pública, promovendo uma cidade mais limpa e saudável para todos.

REFERÊNCIAS

EMLURB. Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana. **Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Urbanas do Recife: Relatório do diagnóstico do sistema de drenagem existente**. Recife, 2016, 333p.

GUEDES, R. P.; ARAÚJO, M. P. S.; ANDRADE, A. P. G. Necessidade do gerenciamento dos recursos hídricos em grandes cidades como Recife. *Architecton-Revista de Arquitetura e Urbanismo*, v. 6, n. 9, p. 107-117, 2021.

HOFFMANN, R. C.; MIGUEL, R. A. D.; PEDROSO, D. C. A Importância do Planejamento Urbano e da Gestão Ambiental Para o Crescimento Ordenado das Cidades. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 3, n. 3, p. 70-81, 2011. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/11301> Acesso em: 29 out. 2022.

HOLANDA, M. A. C. R.; SOARES, W. A. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na infiltração de água pluvial na cidade de Recife-PE. *Revista Ambiente & Água [online]*, v. 14, n. 4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2386> > Acesso em: 28 out. 2022.

IBGE. (2010). **Economia, Produto Interno Bruto dos Municípios**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Contas Nacionais. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 abr. 2022.

MOURA, M. R. F.; MARTIS, N. N. J. L. N.M.; ALMEIDA, Y. Y. G. A macrodrenagem urbana sob a ótica do tripé da sustentabilidade: uma análise dos canais do

Recife-PE. In: IBOGU - Simpósio Brasileiro Online de Gestão Urbana, 3., 2019. **Anais** [...]. Disponível em: <https://www.eventoanap.org.br/data/inscricoes/4964/form1478181207.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2022.

NICHOLS, P; LUCKE, T. Field Evaluation of the nutrient removal performance of a gross pollutant trap (GPT) in Australia. **Sustainability**, v. 8, n. 7, p. 669-707, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su8070669>. Acesso em: 29 out. 2022.

NOOR, M. S. F. M. et al. Evaluation of gross pollutant wet load in Sungai Sering, Malaysia. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2016. p. 012066.

PINHO, T. A. S. Análise do processo de degradação ambiental do curso inferior do rio morno sob da perspectiva da ocupação desordenada das áreas do seu entorno. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2019, **Anais** [...]. Fortaleza – CE.

SILVA JUNIOR, M. A. B.; SILVA, S. R.; ALCOFORADO, R. de M. G. Avaliação do sistema de microdrenagem visando à sustentabilidade de área urbana com problemas de alagamentos e influência das marés. **Revista Nacional De Gerenciamento De Cidades**, v.4, n. 24, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.17271/2318847242420161320>. Acesso em: 29 out. 2022.

SOUSA, N. M.; PORTELA, M. F. A.; NASCIMENTO, E. C.; TORRES, D. M.; FIGUEIREDO, A. A. O. Ocupação desordenada e deposição de resíduos sólidos: um estudo sobre o entorno do Parque Jiquiá-Recife/PE. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 179-186, 2020.

SWANEPOEL, S.; BARNARDO, T.; MARLIN, D. Existing Litter Traps in the Nelson Mandela Bay Metropolitan Area. **Sustainable Seas Trust**, Nelson Mandela Bay Municipality, 2020. Disponível em: <https://sst.org.za/wp-content/uploads/2020/08/102-Existing-litter-traps-NMBM-2020-08-18-1.pdf>. Acesso em: 07 mar. de 2022.

WANG, Zhenbei et al. How do urban rainfall-runoff pollution control technologies develop in China? A systematic review based on bibliometric analysis

and literature summary. **Ciência do Ambiente Total**, v. 789, p. 148045, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148045>> Acesso em: 29 out. 2022.

WWF - Fundo Mundial para a Natureza (Suíça). SOLUCIONAR A POLUIÇÃO PLÁSTICA: TRANSPARÊNCIA E RESPONSABILIZAÇÃO. Gland: 2019. Disponível em: <https://jornalismosocioambiental.files.wordpress.com>

AUTORES

ORCID: 0000-0002-6374-6163

DAMIRES BRAZ DA SILVA, GRADUADA. | Universidade de Pernambuco | Engenharia Civil | Recife, PE - Brasil | Correspondência para: Rua Benfica, 455 - Madalena, Recife, PE, 50720-001) | e-mail: damiresbraz@outlook.com

ORCID:0000-0002-7474-987X

CINTIA RAFAELA LIMA DOS SANTOS, MESTRE. | Universidade de Pernambuco | Engenharia Civil | Recife, PE - Brasil | Correspondência para: Rua Benfica, 455 - Madalena, Recife, PE, 50720-001) | e-mail: cintia-rsl@hotmail.com

ORCID: 0000-0003-3268-7241

WILLAMES DE ALBUQUERQUE SOARES, PHD. | Universidade Federal de Pernambuco | Tecnologias Energéticas e Nucleares | Recife, PE - Brasil | Correspondência para: Rua Benfica, 455 - Madalena, Recife, PE, 50720-001) | e-mail: was@poli.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

SILVA, Damires Braz; SANTOS, Cintia Rafaela Lima dos; SOARES, Willames de Albuquerque. MIX Sustentável, v. 10, n. 1, p. 187-197, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mix-sustentavel>>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v10.n1.187-197>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v10.n1.187-197).

SUBMETIDO EM: 16/03/2023

ACEITO EM: 18/01/2024

PUBLICADO EM: 16/05/2024

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRedit Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

DBS: Curadoria de dados, Supervisão, Visualização & Administração de projetos

CRLS: Conceituação, Aquisição de financiamento, Investigação, Metodologia, Supervisão, Validação & Escrita - rascunho original

WAS: Análise formal, Investigação, Supervisão, Metodologia, Validação; Escrita -revisão e edição

Conflict declaration: nothing has been declared.

STREET AFFORDANCES: HUMAN-ENVIRONMENT INTERACTION IN THE DESIGN PROCESS OF URBAN SPACE

AFFORDANCE DA RUA: INTERAÇÃO HOMEM-AMBIENTE NO PROCESSO DE PROJETO DO ESPAÇO URBANO

STREET AFFORDANCE: INTERACCIÓN PERSONA-ENTORNO EN EL PROCESO DE DISEÑO URBANO

FRANCIS GRAEFF DE OLIVEIRA, Msc. | UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
ARNOLDO DEBATIN NETO, Dr. | UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

ABSTRACT

Incentives to walking as a transport mode are an integral part of the Brazilian National Policy on Urban Mobility, Federal Law 12.587/2012. Nonetheless, design approaches to streets are currently based on motorized transportation, which does not represent the necessary support to walking or to social, cultural, and leisure activities. During their evolution, streets reflected historical, economic, political, and social contexts influencing and being influenced by urban life. However, the advent of new technologies in traffic engineering, civil construction, and communication changed this scenario, and traffic systems started to lead the street design. Research on walking as a transport mode has shown the influence of street space on people's decisions to walk. Environment and Behavior Studies bring substantive knowledge of the human-environment interaction to the theory of Architecture and Urbanism. This knowledge is essential in the transition from designs based on normative theories to contemporary street designs. The Affordance Theory provides understanding of the transactional interaction of the person with the environment. To achieve the integral design of the street, we adapted the Affordance Based Design methodology. This procedural theory was seen as experimentally adequate both in the design process and in the evaluation for further adjustments in existing streets. The integration of a substantive theory and a procedural theory is essential to build spaces that give support to walking.

KEYWORDS

Street Design. Affordances. Walkability.

RESUMO

Os incentivos para a caminhada como modo de transporte são parte integral da Política Nacional Brasileira de Mobilidade Urbana, Lei Federal 12.587/2012. Apesar disso, as abordagens de design para as ruas são atualmente baseadas no transporte motorizado, o que não representa o apoio necessário para caminhar ou para atividades sociais, culturais ou de lazer. Durante sua evolução, as ruas refletiram contextos históricos, econômicos, políticos e sociais, influenciando e sendo influenciadas pela vida urbana. Contudo, o advento de novas tecnologias em engenharia de tráfego, construção civil e comunicação, mudou esse cenário e os sistemas de tráfego começaram a guiar o design das ruas. Pesquisas sobre caminhabilidade como modo de transporte tem mostrado a influência do espaço da rua na decisão das pessoas em caminhar. Estudos sobre ambiente e comportamento trazem um conhecimento robusto da interação homem-ambiente para a teoria da Arquitetura e Urbanismo. Este conhecimento é essencial na transição



de projetos baseados em teorias normativas para um projeto de rua contemporâneo. A Teoria da Affordance fornece uma compreensão da interação transacional da pessoa com o ambiente. Para alcançar o design integral da rua, adaptou-se, para esse artigo, a metodologia do Design Baseado em Affordance.

PALAVRAS-CHAVE

Design de rua; Recursos; Facilidade de locomoção.

RESUMEN

Los incentivos para caminar como modo de transporte forman parte integral de la Política Nacional de Movilidad Urbana de Brasil, la Ley Federal 12.587/2012. A pesar de ello, los enfoques de diseño de las calles se basan actualmente en el transporte motorizado, que no representa el apoyo necesario para caminar o para actividades sociales, culturales o de ocio. Durante su evolución, las calles han reflejado contextos históricos, económicos, políticos y sociales, influyendo y siendo influidas por la vida urbana. Sin embargo, la llegada de las nuevas tecnologías de ingeniería del tráfico, construcción y comunicación ha cambiado este escenario y los sistemas de tráfico han empezado a guiar el diseño de las calles. La investigación sobre la transitabilidad como modo de transporte ha demostrado la influencia del espacio de la calle en la decisión de las personas de caminar. Los estudios sobre medio ambiente y comportamiento aportan a la teoría de la Arquitectura y el Urbanismo un sólido conocimiento de la interacción entre el ser humano y su entorno.

PALABRAS CLAVE

Diseño de calles; Accesibilidad; Caminabilidad

1. INTRODUCTION

In 2012, the Brazilian Federal Government enacted the Brazilian National Policy on Urban Mobility, Federal Law 12,587, giving priority to non-motorized transportation modes in the development of urban mobility plans. However, in order to promote non-motorized mobility, the urban environment should support these transportation modes, which are performed mainly through the streets.

Environment and Behavior Studies provide design professionals with knowledge of the reciprocal relationship between the person performing the action and the environment in which the action takes place, considered as a transactional process. Thus, by understanding the relationship between the person who walks and the environment in which he or she walks, one can see the need for street environments that provide support to people during the course of the activity, resulting in the question "How can streets be designed in order to provide support for the activities taking place there?"

To answer this question, we will incorporate the Affordance Theory, developed by James J. Gibson (Gibson, 1986), into the street design process, combined with the Affordance Based Design methodology developed by Maier and Fadel for Product Design (Maier & Fadel, 2006). To explain the extent to which this approach is necessary, it is also important to understand the different scales and functions that the streets present.

Finally, we will outline the advantages that street designs based on affordances offer as an alternative to the street design approach commonly used in Brazil, which is based on the motor vehicles' traffic function.

2. STREET DESIGN

Streets promote integration of the urban space, enabling not only connection among different districts and neighborhoods but also access, on a smaller scale, by allowing the connection between the lots, such as home and work, school, shops etc. (Appleyard, 1981; Boaga, 1977; Childs, 2012; Ellis, 1981; Gutman, 1981; Jacobs, 1995; Schumacher, 1981). The organization of blocks includes dividing plots and guiding the configuration and size of the lots, limiting or allowing the growth of the city (Ellis, 1981). These physical spaces, which are simultaneously defined and structured by the streets, are able to create places in the urban context where human activities are conducted (Boaga, 1977).

At the macro scale, the streets are hardly separable from the road network to which they belong. Similarly, at the micro scale, there is such a dynamic interaction between built elements as facades, furniture, vegetation and non-built elements such as people's activities and social interactions, making it impossible to separate all the components that form them (Anderson, 1981; Childs, 2012; Rudofsky, 1982).

In addition to those functions, streets are also places where leisure, idleness, fun, manifestation and ceremonies can be carried out (Gutman, 1981). As the greatest public areas of the cities (Herce & Magrinyà, 2013), streets are where the neighbors meet (Appleyard, 1981), where, historically, many of the human activities occurred. Therefore, streets act as a joint between different physical and social scales of a city (Ellis, 1981). Thus, they must be treated as places not only as passageways (Jacobs, 1995; Kostof, 2004).

The streets' multitude of functions allow adaptation between isolated and concomitant uses relating such streets to different physical forms according to cultural, geographic, economic, political and social contexts, historical period and urban demands (Herce & Magrinyà, 2013). That said, the street per se does not have a standard form that should be reached to ensure its success, but it is the consequence of several variables present in the urban space, including the symbolic elements of the population. Good streets are those with which residents identify themselves and allow access for all people, inviting them to different activities, and appreciated by their users (Francis, 1991).

Nevertheless, despite all the roles that streets can play, the vehicular traffic function is generally dealt as the most important one. This thought is reflected in the design of these places, resulting in an urban environment that does not support extra activities other than motorized transportation. It is worth noting that the traffic function affects not only the carriageway but also the sidewalks, as they receive parking signs, parking meters, speed signs, traffic lights, as well as street lighting generally directed to the lane. Using this arrangement of elements, carriageways are free for drivers to use them, while sidewalks become a route full of obstacles (Macdonald, 2011) or end up as parking space (Figure 1).



Figure 1 – Car parking as a priority in the use of the sidewalk. Rua Vereador Arthur Mariano, municipality of São José, Brazil.
Source: Authors.

This concept of design based on a function to rule the configuration of the space is fragile as it disregards other important functions such as accommodation of urban infrastructures. It is noteworthy that, in Brazil, underground power supply and underground communication networks are rarely used. Hence, streets must also be sized to this need. It can be seen, in Figure 2, a cross section of a generic street, standardized by street hierarchy proposed in the Master Plan of the municipality of Biguaçu, Brazil. The street has 75% of its width dedicated to motorized transportation, regardless the size of the power poles, signs and curb. Besides that, land use and population density were also not consider.

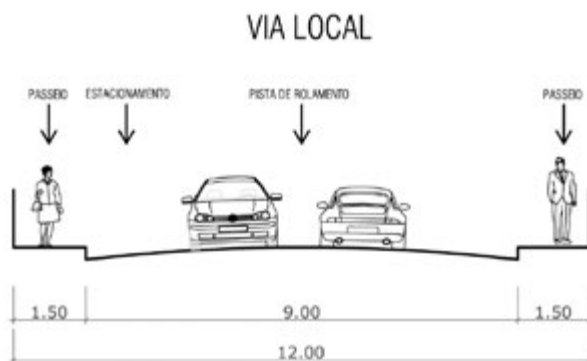


Figure 2 – Cross section of a standardized generic local street proposed in the Master Plan of Biguaçu, Brazil.
Source: Plano Diretor de Desenvolvimento Municipal de Biguaçu, 2007.

Another important issue concerning this design approach is the lack of dialogue between the different codes and standards that affect the design. According to Florianópolis' Building Code, butane plants must be detached from the building and located on the setback space.

However, as seen in Figure 3, there is no area for the butane supply truck, resulting in the use of the sidewalk as a load/unload area, which may cause damage to the pavement and manhole lids.



Figure 3 – Butane supply as one of the functions that streets should support. Rodovia João Paulo, Florianópolis.
Source: Authors.

This lack of relationship between the street design and the different elements and standards that compose the street's tridimensional space results in a defective environment, which is unable to meet the people's needs towards their activities. Recalling that streets are public environments for public use, they have to be designed for all people, and the integration of these elements is of great importance. For example, as can be seen in Figure 4, the full width of the sidewalk is 2,35m; however, considering the electricity pole position, its width drops to only 1,05m, narrower than what is required by the Brazilian Technical Standard 9050/2004 on accessibility.



Figure 4 – Sidewalk width of 2,35m resulting in only 1,05m of free space. Rodovia João Paulo, Florianópolis, Brazil.
Source: Authors.

Having said that, it should be understood that streets receive several functions besides motorized traffic, and all these functions must be thought together

in order to ensure that this urban space will perform its urban connection function, along with all other necessary functions for the development of the activities designed to a specific street.

Considering that the streetscape is a three-dimensional space formed by the all the parts that compose a street, and recognizing that this parts are inseparable from the whole (Anderson, 1981; Childs, 2012), the design of a street should be multidisciplinary, incorporating not only the technical requirements but mainly the requirements of the population because, as stated by Churchill (1962), "the city is the people."

3. AFFORDANCES

Environment Behavior Studies deal with subjects that relate the interaction among physical environment and human behavior (Churchman, 2003). By analyzing the person-environment interaction, these studies evidence that there is a reciprocal relationship between the person who carries out the activity and the place where the activity is done. Hence, environment and behavior cannot be seen separately, and environment has to be fully understood considering that the person is not a passive agent of this process, but acts on the environment and is influenced by it (Heimstra & McFarling, 1978; Ittelson, Proshansky Rivlin, & Winkel, 1974).

Based on this reciprocal relationship, James J. Gibson developed the Affordance Theory to explain the interaction between person and environment. He presents the concept of affordance as an opportunity of action that the environment or the object will offer to a person, but it depends on the person to perceive it. In other words, the environment will always afford opportunities of use, but it depends on the person's capabilities, limitations, personality, etc. to perceive them (Gaver, 1991).

One can understand the relationship between the perception of affordances and the street with the following example: a person who does not have disabilities does not see a broken sidewalk as an impediment to walk, but a person who needs a wheelchair to move around may notice this same sidewalk as an obstacle (Figure 5). Thus, the walking affordance that the sidewalk has is there, but the two people will perceive it differently.



Figure 5 – A sidewalk in poor condition is not perceived as an obstacle to walking by a person who has no disabilities, but for those who do, it can be an impediment.

Rodovia João Paulo, Florianópolis, Brazil.

Source: Authors.

Knowing that people are not passive to stimuli provided by the environment, it can be therefore understood that the presence of an affordance is not deterministic for an action to be performed. For example, a short wall has the affordance of sitting (Figure 6), but it does not necessarily mean that such action will occur just because the affordance is there (Figure 7). The presence of an affordance is not deterministic for an action to occur, but the environment is deterministic for an action not to occur. In other words, if the environment does not provide support for a certain activity, this activity cannot be performed (Rapoport, 1990).

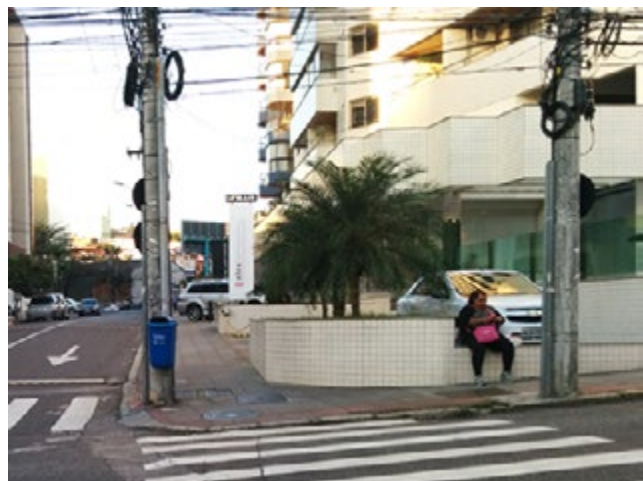


Figure 6 – One can perceive the affordance and perform the action. Therefore, this person perceived the affordance of sitting provided by the wall.

Source: Authors.



Figure 7 –The affordance of sitting may be present, but people do not necessarily use it.
Source: Authors.

“The composition of the built environment affords a variety of things to the potential user. It affords visual stimulation and haptic stimulation; it might also provide sonic stimulation and olfactory stimulation. [...] In addition to stimulation as such, the built environment affords many other things that support some behaviors and restrict others. The list is almost endless. [...] The affordances of a particular pattern of the built environment are a property of its layout, of the materials of which it is fabricated, and of the way it is illuminated – with reference, always, to a particular set of people” (Lang, 1987, p. 83).

Knowing that the environment offers opportunities of use for those who will perform the action is important for the urban space design as it allows recognizing that the design process always involves creation, modification or elimination of these opportunities of use, i.e., affordances. With that in mind, it should be understood that affordances can be positive and/or negative (Gibson, 1986). The same sharp blade that affords to cut steak for an adult, a positive affordance, also provides the negative affordance of injuring yourself. In the urban space, such relationship is established as follows: the same carriageway that affords high speed for drivers has a negative affordance of being unsafe for a person to cross from one side to another. Therefore, one can understand that the manipulation of the environment can bring positive and/or negative opportunities of use to different activities in a particular context.

Besides being positive and/or negative, affordances also have the property of multiplicity, which refers to the multiple affordances that the same environment or

object can offer (Gibson, 1986). Going back to the short wall example, it prevents the passage but can also afford sitting, support objects on its surface, etc.

As the perception of affordances is related to who carries out the action, it is necessary that the design process incorporate not only technical requirements, but it must also be grounded in joint effort among technicians and community. Although citizen participation is often questioned or poorly conducted in Brazil, its importance needs to be highlighted as it brings substantive knowledge to the scientific and procedural spheres, that is, how the world is; unlike the usual approaches to street design, which are based on normative knowledge that says how things should be (Murphy, 2005). This difference may sound superficial, but it is fundamental in the design of micro and macro scales since the normative theory represents idealized knowledge based on habits and beliefs of those who design (Moudon, 2000), generating inconsistencies in how people live, as pointed out by Hershberger (1974, p 148.):

“Will the architect’s knowledge of and empathy for [...] the occupants of those buildings allow him to make consistently accurate predictions about responses to what he designs? [...] In the absence of better information, however, this is what the architect tries to do. Sometimes he succeeds. Quite often he fails. And failure is not a trivial matter.”

An example of the difference between designers’ and communities’ perceptions can be seen in the social housing project Pruitt-Igoe in St. Louis, USA. Due to the lack of knowledge on how people lived, their habits, needs and culture, the architects in charge of that project based the design on how they thought the future residents lived and how they thought they would like to live. Therefore, these architects designed wide corridors to lead the residents to the apartments and also to be used as a social area. For the designers, the wide corridor would afford support to social activities. This affordance was not perceptible to residents, but these same wide corridors offered perceptible affordances to some residents such as drug dealing, vandalism and theft, resulting in the demolition of more than two thousand housing units twenty years after the end of the construction (Lang, 1987).

Considering that the design of a built environment consists in manipulating affordances and that the perception of these affordances depends on the person who carries out the action, it is necessary to turn this process

into a conscious process by improving the positive affordances and mitigating the negative ones that the environment may offer to the people.

4. APPLYING THE AFFORDANCE THEORY TO STREET DESIGN

By analyzing a street design based on traffic function, one can see that all its affordances are conceived for the use of motorized transportation. In that sense, for example, carriageway resurfacing affords higher speeds, large curvature radius in the corners affords drivers to turn with little deceleration, parking space affords people to leave the car somewhere while it is not used, and so on. However, as affordances have the properties of multiplicity and polarity, it is important to recognize that the carriageway resurfacing affords those traveling by a vehicle the opportunity to speed up, while it affords pedestrians difficulty to cross the street.

Understanding that objects and environments provide affordances to the person who will use it contributed to the development of the Affordance Based Design, an affordance-based procedural theory for Product Design developed by Maier and Fadel (Maier & Fadel, 2006). These authors recognize that, while interacting with an object or environment, the person is interacting with the whole system that composes this object. A room, for example, affords shelter; however, in order for the room to afford shelter, the foundations must support the weight of the building, the structural system will support the floor, roof and walls, and walls will support the openings (Maier, Fadel, & Battisto, 2009). Thus, the person perceives the affordance generated by the whole system that composes the environment.

A blender, for example, affords grinding the food, but the grinding affordance depends on when a person presses the button to turn on the motor and the motor rotates the blade inside the cup. Therefore, the Affordance Based Design considers not only the affordances directly related to the person's interactions with the object, but also the indirect relations that make the system provide the affordance (Maier & Fadel, 2006).

These interactions among the elements that compose the object or environment are named by Maier and Fadel as Artifact-Artifact Affordances (AAA), and the opportunities of use that the object or the environment affords people are the Artifact-User Affordances (AUA). It is noteworthy that in both cases these affordances can be positive

or negative.

On the streets, this AAA interaction can be observed with the following example: the curb leads rainwater to the drain grates which will lead the rainwater to the underground urban drainage system. The curb affords the streets not to get flooded when it rains (AAA positive). If the street does not have a rainwater drainage system, it may get flooded, causing damage to the asphalt and sidewalks, erosion of the buildings' foundation, preventing people from developing their activities there (AAA negative).

In the same manner, regarding the choice of the elements that shall compose the space, it is necessary to consider how each element may interfere with the functioning of the street as a whole. Comparing the two drain grate models shown in Figure 8 and Figure 9, it can be seen that the first one presents positive affordance relative to rainwater collection (+AAA) at the same time that it presents negative affordance for trapping bicycle wheels (-AUA). The second model presents positive affordance in terms of water collection (+AAA); however it does not show a negative affordance as the previous model did.



Figure 8 – Drain grate model showing positive affordance for rainwater collection but negative affordance for trapping bicycle wheels. Rua Altamiro Barcelos Dutra, Florianópolis, Brazil
Source: Authors.



Figure 9 – Drain grate model showing positive affordance for rainwater collection but no negative affordance for trapping bicycle wheels. Rua Altamiro Barcelos Dutra, Florianópolis, Brazil
Source: Authors.

Therefore, the design of an environment involves creation, modification or elimination of what the environment will afford. Thereby, looking back at the street design approach based on motorized traffic functions in Figure 10, one can see that this interaction with the systems has not been addressed. Consequences of the use of this design approach can be seen in Figure 8. There is not enough room on the sidewalk to place the electricity pole. In addition, manhole lids are placed over the tactile directional floor, and one of these lids is in front of the driveway gate of the building and may break under the weight of the vehicle, which may interrupt passage and cause a distracted or visually impaired person to fall down.



Figure 10 – Interactions between the systems that compose the street must be planned jointly so that the environment can support the different activities assigned to it.
Rua Frei Hilário, São José, Brazil.
Source: Authors.

The design of a street has to be different according to land use and population density, as it will impact the

street usage in different ways. As much as zoning is the same along a street, the same commercial zone can receive different types of businesses. A stationery shop and a grocery store feature various demands in the street space. The grocery store, for example, receives supplies daily in order to have fresh food, but it also has a high product turnover. Thus, the need to load and unload is greater in a grocery shop than in a business that does not have this need of replacing products so often. If the street does not support the needs presented by the use of the buildings, the supply of products either may not be provided or interfere in the performance of other activities, as can be seen in Figure 11.



Figure 11 – Lack of load/unload area interferes in other activities in the street. Rua João Piu Duarte Silva, Florianópolis, Brazil.
Source: Authors.

As affordances have the property of multiplicity, the same element can afford support to different activities and, in the same way, different elements may provide the same affordance. Traffic calming measures can be implemented with different strategies, such as horizontally or vertically deflecting the carriageway, narrowing the road, paving, among others. Thus, this approach allows greater freedom to the design, since the same element can respond to various requests and the same request may be fulfilled in different ways.

Therefore, one can understand that the street is a complex environment housing different functions at the macro and micro scale, being generated by the interaction of all the elements that compose it, and this interaction should result in a design that meets the population's needs. As previously discussed, the perception of affordances is relative to the people who will use the place, therefore the affordance based design must rely, first, on knowing the community's needs, having in mind that, as

the street is a public space, it must provide opportunity of use to all people, regardless of their abilities or limitations.

Lastly, it is important to consider that it is not possible to eliminate all negative affordances because at the same time that the carriageway affords risk of injury to pedestrians, it also affords the possibility to travel around the city. Thereby, the designer's role is to control the entire system's relationships that compose the environment in order to strengthen positive affordances and try to eliminate, where possible, negative affordances.

5. CONCLUSION

The street design should consider the role that streets play in the urban scale and in the human scale, considering the different contexts and functions that will simultaneously occur. Two different streets in the same city can have the same design but one may work differently from the other, owing to topography, zoning, culture, economy, among others.

The incorporation of knowledge from different fields helps understand that the environment, as a whole, will provide people with opportunities of use, and these opportunities will be perceived differently according to the user. Therefore, the design should respond to the requests of each context and be grounded in the knowledge that the community will provide

The integration of the Affordance Theory in the street design presents itself as a manner of conceiving the urban space, incorporating people's perception and the elements that, together, create this place. This approach enables the design to not only be based on technical opinion, but also consider citizens' participation necessary to create an environment that provides different opportunities of use, rather than focusing on a single function.

REFERENCES

- Anderson, S. (1981). Estudios sobre un modelo ecológico del entorno urbano. In S. Anderson (Ed.), **Calles: problemas de estructura y diseño** [On Streets] (pp. 279 – 317). Barcelona: Gustavo Gili.
- Appleyard, D. (1981). *Livable Streets* (p. 364). **Berkeley:** University of California Press. Retrieved from http://books.google.com.br/books?id=pfreUQKD_4QC
- Boaga, G. (1977). **Diseño de tráfico y forma urbana** (p. 254). Barcelona: Gustavo Gili.
- Childs, M. (2012). **Urban Composition**: Designing Community through Urban Design (p. 144). New York, NY, USA: Princeton Architectural Press.
- Churchill, H. S. (1962). **The city is the people** (2nd ed., p. 224). New York: W. W. Norton & Company.
- Churchman, A. (2003). Environmental Psychology and Urban Planning: Where Can the Twain Meet? In R. B. Bechtel & A. Churchman (Eds.), **Handbook of Environmental Psychology** (pp. 191–200). Hoboken, USA: John Wiley & Sons.
- Ellis, W. C. (1981). La estructura espacial de las calles. In S. Anderson (Ed.), **Calles: problemas de estructura y diseño** [On Streets] (pp. 125–141). Barcelona: Gustavo Gili.
- Francis, M. (1991). The Making of Democratic Streets. In A. V. Moudon (Ed.), **Public Streets for Public Use** (pp. 23–39). New York: Columbia University Press.
- Gaver, W. W. (1991). **Technology affordances. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems Reaching through technology - CHI '91** (pp. 79–84). New York: ACM Press. doi:10.1145/108844.108856
- Gibson, J. J. (1986). **The ecological approach to visual perception** (3rd ed., p. 332). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gutman, R. (1981). La generación de las calles. In S. Anderson (Ed.), **Calles: problemas de estructura y diseño** [On Streets] (pp. 259–275). Barcelona: Gustavo Gili.
- Heimstra, N. W., & McFarling, L. H. (1978). Psicología Ambiental [Environmental Psychology] (p. 263). São Paulo (SP): EPU: Editora da Universidade de São Paulo.
- Herce, M. V., & Magrinyà, F. (2013). **El espacio de la movilidad urbana** (p. 278). Buenos Aires: Café de las Ciudades.
- Hershberger, R. G. (1974). Predicting the Meaning of Architecture. In J. Lang, C. Burnette, W. Moleski, & D.

Vachon (Eds.), **Designing for Human Behavior** (pp. 147–156). Stroudsburg, EUA: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.

Ittelson, W. H., Proshansky, H. M., Rivlin, L. G., & Winkel, G. H. (1974). An introduction to environmental psychology (p. 406). Oxford, UK: Holt, Rinehart & Winston.
Jacobs, A. B. (1995). **Great Streets** (p. 331). Cambridge, MA, USA: MIT Press.

Kostof, S. (2004). **The City Assembled: The Elements of Urban Form Through History** (1a. Reimpr., p. 320). Londres: Thames and Hudson.

Lang, J. (1987). **Creating Architectural Theory: The Role of the Behavioral Sciences in Environmental Design** (p. 278). New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc.
Macdonald, E. (2011). Streets and the Public Realm: Emerging designs. In T. Banerjee & A. Loukaitou-Sideris (Eds.), **Companion to Urban Design** (pp. 419–431). New York: Taylor & Francis e-Library.

Maier, J. R. A., & Fadel, G. M. (2006). Affordance Based Design: Status and Promise. In Proceedings of the International Design Research Symposium, IDRS'06 (p. 18). Seoul, South Korea: **International Design Research Symposium, IDRS'06**.

Maier, J. R. A., & Fadel, G. M. (2008). **Affordance based design: a relational theory for design**. *Research in Engineering Design*, 20(1), 13–27. doi:10.1007/s00163-008-0060-3

Maier, J. R. A., Fadel, G. M., & Battisto, D. G. (2009). An affordance-based approach to architectural theory, design, and practice. **Design Studies**, 30(4), 393–414. doi:10.1016/j.destud.2009.01.002

Moudon, A. V. (2000). Proof of Goodness: A Substantive Basis for New Urbanism. *Places*, 13(2), 38–43.
Murphy, M. D. (2005). **Landscape Architecture Theory: An Evolving Body of Thought** (p. 256). Long Grove, EUA: Waveland Press.

Rapoport, A. (1990). **History and Precedent in Environmental Design** (p. 510). Boston, MA: Springer US. doi:10.1007/978-1-4613-0571-2

Rudofsky, B. (1982). **Streets for people: a primer for**

Americans (2nd ed., p. 351). New York: Van Nostrand Reinhold Co.

Schumacher, T. (1981). Los edificios y las calles. Notas sobre su configuración y uso. In S. Anderson (Ed.), **Calles: problemas de estructura y diseño [On Streets]** (pp. 142–160). Barcelona: Gustavo Gili.

AUTHORS

ORCID: 0000-0001-8705-1561

ARNOLDO DEBATIN NETO | Doutor em Engenharia de Produção | Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) | Departamento de Design e Expressão Gráfica | Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima - Trindade - Florianópolis - Santa Catarina - Brasil - CEP: 88040-970 | e-mail: debatin.neto@ufsc.br

FRANCIS GRAEFF DE OLIVEIRA | Mestre em Arquitetura e Urbanismo | Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) | Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo | Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima - Trindade - Florianópolis - Santa Catarina - Brasil - CEP: 88040-970 | e-mail: francisgraeff@gmail.com

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

NETO, Arnaldo Debatin; OLIVEIRA, Francis Graeff de. *MIX Sustentável*, v. 10, n. 1, p. 199-109, 2024. ISSN 2447-3073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: [_/_/_doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.199-209>](https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.199-209).

SUBMITTED ON: 08/09/2023

ACCEPTED ON: 26/01/2024

PUBLISHED ON: 16/05/2024

RESPONSIBLE EDITORS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferroli

Record of authorship contribution:

CRediT Taxonomy (<http://credit.niso.org/>)

ADN: conceptualization, formal analysis, methodology, project management, supervision, visualization, writing - original draft..

FGO: conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology, validation, visualization, writing - review & editing.

Conflict declaration: nothing has been declared.

DESIGN TOOL TO EVALUATE EXPERIENCES OF MATERIALS DEVELOPED WITH AMAZONIAN AGRO-INDUSTRIAL WASTE

LAURO ARTHUR FARIAS PAIVA COHEN | UEMG – Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
ELIANE AYRES | UEMG – Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

1. INTRODUCTION

The Amazon region is home to great biodiversity and a population with traditional knowledge deeply linked to the management of natural resources. Despite the plurality of its territory, large spaces are in a constant process of urbanization, with a growing demand for alternatives in the matter of waste. The Açaí production chain (*Euterpe oleracea* Mart.) is one of the most important for the region, its importance is related to the cultural identity, economic value, and health benefits that the consumption of the fruit promotes.

Although, the high production, derived from industrial processing, is responsible for environmental and social problems in the region's main cities. Açaí waste is composed of the seed, fibers (which cover the seed), and dregs from the production process. The amount of residue produced varies from 71 to 95% of the processed seed mass (BUFALINO et al., 2018).

Materials have meanings that should not be reduced only to their functional qualities and technical properties. Designers have the opportunity to understand the experiences and perceptions of new raw materials.

Developed by Camera and Karana (2018), Ma2E4 is a set of tools that aims to help understand how people evaluate a given material, at four different experiential levels: sensorial, interpretative, affective, and performative. Therefore, the present work aims to evaluate composite materials, developed with PLA/Açaí fibers and PLA/Açaí seeds, using Ma2E4 tools. Through a qualitative assessment, it was possible to identify sensory patterns among the materials developed.

2. MATERIALS AND METHODS

As for the methodological procedures, the research is characterized as exploratory, with qualitative data analysis. Therefore, for the analysis, composites with different percentages of Açaí residues in their composition were selected, as shown in Figure 1. The use of Poly-lactic Acid (PLA) as a matrix aimed to obtain a biodegradable composite. PLA was processed with fiber crushed in a knife mill and seed powder.

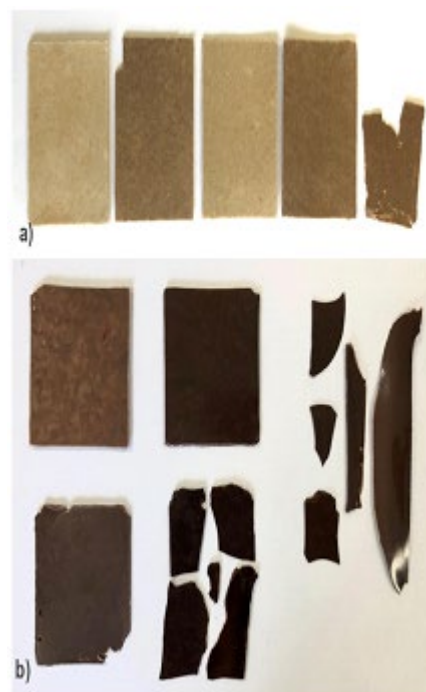


Figure 1: a) PLA/Açaí Fiber Composites; b) PLA/Açaí seed composites

Source: Authors, 2023

An adaptation of the Ma2E4 method was made, according to Figure 2, so that the researcher had the opportunity to carry out a sensory assessment and interpret the information together with the results of the two samples.



sensory evaluation - sample name	-2 -1 0 1 2				
	hard				soft
smooth					rough
matte					glossy
not reflective					reflective
cold					warm
not elastic					elastic
opaque					transparent
tough					ductile
strong					weak
light					heavy
regular texture					irregular texture
fibred					not fibred

Figure 2: Scale for Sensory Evaluation

Source: Authors, 2023 - Adapted from: Camera; Karana, 2018.

The rating scale ranges from -2 to 2, for opposite characteristics (e.g., light or heavy), where 0 is a neutral point. The evaluation present in this research was made by the research designer, after processing the composites.

3. RESULTS

The result of the sensory evaluation of the PLA/Fibers sample, in general, indicated a hard, smooth, light and fibrous material with an irregular texture, since the Açai Fibers were randomly dispersed on the surface. During the sensory evaluation stage of the PLA/Seeds samples, the material developed corresponds to a smooth, opaque, light, non-elastic and matte raw material.

Both raw materials were neutral in terms of temperature (hot or cold). It was identified that higher the fiber percentage, higher the "Irregular Texture" and "Fibred" scales of the PLA/Fibers composite. Unlike the samples with fibers, the material with seeds had a regular and non-fibrous texture, as the seed powder was not visible on the upper plane of the composite.

Traditionally, in science and engineering, materials are characterized only technically, to ascertain their structures and measure their properties. It is understood that, in order to be able to state that PLA/Fibers and PLA/Seeds composites are light or heavy, elastic or non-elastic, it is necessary to subject the samples to technical characterizations. However, through understanding sensory qualities, this research directs the possibility of mapping application profiles, comparison with similar materials

and future investigations to understand the perception of potential users.

REFERENCES

BUFALINO, L.; GUIMARÃES, A. A.; SILVA, B. M. S.; SOUZA, R. L. F.; MELO, I. C. N. A.; OLIVEIRA, D. N. P. S.; TRUGILHO, P. F. Local Variability for Yield and Physical Properties of Açai Waste and Improvement of its Energetic Attributes by Separation of Lignocellulosic Fibers and Seeds. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 10, 2018.

CAMERE, S.; KARANA, E. Experiential Characterization of Materials: towards a toolkit. In: STORNI, C.; LEAHY, K.; MCMAHON, M.; LLOYD, P.; BOHEMIA, E. (Org.) **Design as a Catalyst for Change** - DRS International Conference. Limerick: Ireland, 2018.

FEMINIST STRATEGIC DESIGN: A THEORETICAL-METHODOLOGICAL PROPOSAL OPERATED IN THE CONTEXT OF THE CITY.

GIULIA LOCATELLI E SILVA, Msc. | UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

KARINE DE MELLO FREIRE, Dr. | UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

1. INTRODUCTION

The patriarchal structure under which our society is organized reflects, in the most diverse spheres, its modes of oppression. The cities, the result of construction governed by this paradigm, are a space where it is possible to identify these impressions in their physical structures and organizational systems. This perception is even more accentuated when observing these influences on women's lives. Given this finding, strategic design presents itself as a potential methodological operator capable of, with its dialogic and collective participation capabilities, transforming the reality of projects developed in this context. However, just like in cities, it is possible to perceive the incidence of patriarchy on this field of study that was born within and from this reality. It is based on these observations, and putting these factors into connection, that this study was born.

2. RESULTS

The research analyzed the ways in which the structure and planning of cities, built under a patriarchal context, interfere in women's daily lives. From this, feminism was used as a field of knowledge under which it is possible to build new perspectives on the future and society, understanding it as an epistemology capable of breaking with the dominant design models, whether in cities or strategic design. What developed from this was the proposition of a feminist strategic design methodology, which aims to suggest and present new design perspectives that can transform modes of operation and perception regarding design processes, considering, especially, the perspective of women. Through a path covered through four operational movements expressed by four verbs (listen, share,

imagine and practice), under the adoption of feminist ethical stances also represented by 6 verbs (haunt, ask, remember, celebrate, approach and care), the proposal developed was experienced and evaluated in a design context located in the city of Porto Alegre, in three different experiences. The objective was to rethink the city and propose design alternatives that considered and placed women's experiences at the center of the proposals.

3. CONCLUSION

What was developed aimed to call into question most of the theoretical references that support studies in strategic design and its design processes, also breaking with a conduct commonly present in projects operated under a patriarchal structure and reasoning in cities: the need to always produce with focus on the industry, through innovations that aim exclusively at profit and that benefit a select group of people. In this process, participants allowed themselves to imagine freely; discuss solutions based on the problems experienced in the city, seeking to prevent them and not just remedy their consequences; and present initiatives that considered the reality in which they would be developed. The adoption of feminist ethical stances in the design process under a strategic design approach constitutes a critical reflection on the design process itself. Therefore, it is possible to say that the operation of strategic design in the light of feminist epistemology was capable of: (1) rethink the perspectives and references adopted with regard to strategic design practices; (2) decentralize the perceptions usually adopted in design processes, taking into account the experiences of women and people marginalized by the patriarchy; and (3) incorporate feminist ethical stances into the methodological operation process in order to transform it, indicating



necessary attitudes that designers must adopt in order to act in accordance with this epistemology, critically reflecting on their conduct and design development.

REFERENCES

LOCATELLI, Giulia. **Design estratégico feminista: uma proposta teórico-metodológica operada no contexto da cidade**. Dissertação (Mestrado em Design) - Programa de Pós-graduação em Design, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2023.

DESIGN CIRCULAR PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS TÊXTEIS

MARIA ELOISA DE J. CONCEIÇÃO, Dra. | PUC-Rio – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil
 CLÁUDIO FREITAS DE MAGALHÃES, Dr. | UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
 JORGE ROBERTO LOPES DOS SANTOS, PhD. | RCA

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos líderes mundiais na produção de moda praia e o estado do Rio de Janeiro é o maior produtor deste segmento no país, representado pelo Arranjo Produtivo Local Polo Moda Praia de Cabo Frio. No processo de corte destes modelos há um desperdício médio de 30% de matéria-prima, em grande parte de origem sintética, e a maioria desse montante acaba descartado em lixões e aterros sanitários onde pode levar séculos para se decompor. Com o objetivo de sistematizar um conjunto de ações em busca de soluções, investiga-se nesta pesquisa como criar um processo de gestão de resíduos para o arranjo, através do uso da tecnologia de manufatura aditiva, considerando as dimensões ambiental, social e econômica do aglomerado.

2. MÉTODO

A pesquisa, exploratória e aplicada, analisou a dinâmica dos resíduos têxteis do arranjo para considerar a formulação de estratégias de recuperação de valor desse material. Para tanto, a base teórica apoiou-se nos conceitos de economia circular, para entender as diferentes perspectivas e abordagens de modelos operacionais circulares; de arranjos produtivos locais, tendo em vista o incremento da cooperação entre as empresas que fazem parte do arranjo; de simbiose industrial, como ferramenta inspirada nos ecossistemas naturais para o intercâmbio de materiais; e de manufatura aditiva, tecnologia capacitadora que impulsiona os modelos de economia circular e fortalece sistemas democráticos de fabricação local e distribuída.

Os métodos e práticas que compõem a metodologia deste estudo incluem fases distintas, uma pesquisa pré-experimental, como base para um experimento futuro; e uma pesquisa bibliográfica, que sustenta o pré-experimento e o modelo de gestão de resíduos têxteis que é proposto para o arranjo.

3. RESULTADOS

A pesquisa apresenta como resultados um modelo de fluxo circular de loop aberto, para gestão de resíduos têxteis do Arranjo Produtivo Local Polo Moda Praia de Cabo Frio, com base em uma integração intersetorial com empresas de reciclagem têxtil; e, um protótipo de filamento para impressoras 3D, desenvolvido a partir dos resíduos de malha poliamida, para ser usado na produção de aviamentos e acessórios. Destaca-se que o sistema de gestão de resíduos proposto é dinâmico, permitindo que os vínculos estabelecidos entre os interlocutores locais propiciem novas articulações, dentro e fora do arranjo produtivo local.

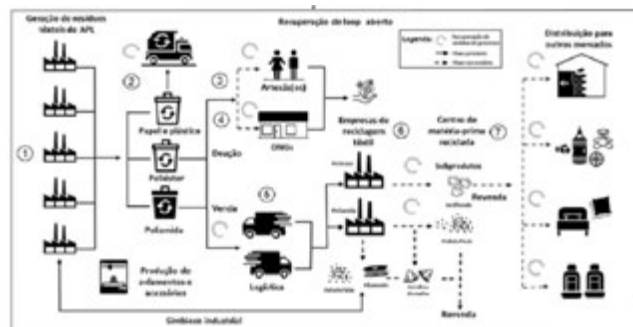


Figura 1: Proposta de fluxo circular de loop aberto transectorial.

Fonte: Autores.

4. CONCLUSÕES

A reciclagem têxtil, sobretudo no Brasil ainda está em fase embrionária e carece de estratégias para a criação de novas rotas. Nessa perspectiva, a economia circular aponta para caminhos alternativos que podem remediar o impacto causado pelo descarte.

Como ferramenta capacitadora, a tecnologia de manufatura aditiva gera melhorias na eficiência de recursos com sistemas de fabricação mais eficientes, produção sob demanda, integração de novos materiais e implementação de novos processos, estabelecendo um novo paradigma para a produção através da flexibilidade e da



capacidade de resposta rápida, que são o foco de controle para romper com a cadeia produtiva linear.

Em oposição ao sistema vigente, o modelo de produção circular tem benefícios que podem ser notados em três dimensões: econômica, com o aumento da eficiência no uso de recursos; social, com a geração de novos empregos em setores como o de reciclagem; e ambiental, com a redução do uso de matéria-prima inexplorada, e, por consequência, a redução das emissões de gases de efeito estufa.

ENTREVISTA COM: RAQUEL GOMES NORONHA



Créditos: Raquel Gomes Noronha.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3753-5143>

RESUMO

Raquel Noronha, professora associada e pesquisadora da UFMA, em entrevista à MIX Sustentável, destaca as questões que envolvem a diversidade cultural do Maranhão e a sustentabilidade a partir de uma abordagem de caráter decolonial. Apresenta as pesquisas e os pesquisadores do NIDA - Grupo de pesquisas Narrativas em inovação, design e antropologia que propõem, de forma crítica e especulativa, a superação do paradigma antropocêntrico a partir do envolvimento de cosmologias outras nas práticas de designantropologia. Tais perspectivas entram em diálogo com a proposta de realização do X SDS, em 2025, na cidade de São Luís. Neste sentido, apresenta os diálogos entre a produção do Programa de Pós-Graduação em Design da UFMA sobre a temática, envolvendo a realidade local. O

evento, em sua décima edição, acontecerá na Amazônia Legal e isso traz importantes implicações.

PALAVRAS-CHAVES

Designantropologia; decolonialidade; saberes locais; sustentabilidade; SDS.

ABSTRACT

Raquel Noronha, associate professor and researcher at UFMA, in an interview with MIX Sustentável, highlights the issues involving the cultural diversity of Maranhão and sustainability in a decolonial approach. She presents the research project of NIDA – Research Group Narratives on Innovation, Design and Anthropology, which proposes, in a critical and speculative way, the overcoming of the anthropocentric paradigm through the involvement of other cosmologies in the practices of designanthropology. These perspectives dialogue with the proposal to hold the X SDS, in 2025, in the city of São Luís. In this sense, it presents the dialogues between the production of the UFMA Postgraduate Program in Design on the topic, involving the local reality. The event, in its tenth edition, will take place at Amazon Legal and will have important implications.

KEYWORDS

Designanthropology; decoloniality; local knowledges; sustainability; SDS.

1. Conte-nos um pouco sobre a sua trajetória e a sua relação com a sustentabilidade?

Costumo iniciar esta história com o projeto de extensão que iniciei em 2009, o Iconografias do Maranhão. Sou carioca, graduei-me Desenhista Industrial pela ESDI, em 2002, e, logo após, vim residir em São Luís. Já faz 20 anos que vivo aqui e a mesma motivação que me fez criar o Iconografias, em 2009, permanece até hoje: meu encantamento com a riqueza cultural deste estado!

Em 2004, 2005, eu estava muito curiosa com a cidade, era recém-chegada e ávida em conhecer a cultura local. O



“olhar estrangeiro” me conduzia aos detalhes imagéticos das manifestações como o bumba-meu-boi, o tambor de crioula, tambor de mina, os blocos tradicionais de carnaval, o reggae, enfim, a profusão de estímulos era enorme, e, ao mesmo tempo, deparava-me com um comércio incipiente de artesanato local no centro histórico de São Luís. Chamava-me a atenção a pouca variedade e a falta de originalidade, de diferenciação de tais produtos. O industrializado, artefatos produzidos em média escala, com feição artesanal, e que podem receber uma assinatura diferente em cada cidade em que é disponibilizado, dominava as prateleiras das lojas turísticas.

A essa altura eu já era docente da UFMA, desde 2006, e em levantamento realizado em uma feira de artesanato localizada no bairro da Praia Grande, entrevistando artesãos e turistas, percebeu-se que havia um grande descompasso entre as percepções sobre os produtos. Se por um lado, os artesãos locais estavam muito satisfeitos com suas produções, os turistas demonstravam insatisfação com a reprodutibilidade de produtos, falta de conexão com a cultura local e, ainda, questões de acabamento das peças. Nesta lacuna entre as percepções de produtores e consumidores, identifiquei uma oportunidade de ação e escrevi o projeto Iconografias do Maranhão. De lá pra cá, já temos doze edições realizadas, com iniciativas nos grupos de cultura tradicional de São Luís, terreiros de religiões de matriz africana, quilombos do município de Alcântara, estaleiros tradicionais, em diversas ações de mapeamento iconográfico, cocriação de linhas de produtos artesanais, levantamentos de cadeias produtivas, desenvolvimento de embalagens e identidades visuais para produtos artesanais, desenvolvimento de uma materioteca... Realizou-se bastante coisa, além da consolidação do tripé ensino-pesquisa-extensão. Foram formados muitos bolsistas de extensão e iniciação científica e, posteriormente, quando terminei o doutorado em 2015, tive a oportunidade de ingressar no Programa de Pós-graduação em Design aqui da UFMA, do qual ainda faço parte atualmente, e pude formar mestrados a partir desta conexão entre produção artesanal, geração de trabalho e renda e sustentabilidade, em sua multidimensionalidade, mas, especialmente, considerando-se as questões sociais e culturais.

Pensar as especificidades, os valores simbólicos de cada grupo produtivo e as cosmologias de cada comunidade, especialmente as tradicionais, as comunidades remanescentes de quilombo com as quais pesquisei, é um mergulho em um pluriverso, muito diferente daquilo que se ensina nas escolas de Design como abordagem metodológica. É um processo de desconstrução de uma lógica

que posiciona a ideia de projeto como central, como norteadora e, especialmente, um desafio em questionar e desnaturalizar aquilo que se entende como o que é o melhor para o outro. Como as visões de mundo são baseadas em valores diferentes, os desejos e as necessidades são também de outra natureza. E isso é bastante difícil de entender inicialmente. Somos treinados a pensar projeto, sustentabilidade a partir de uma lógica produtiva ocidental, moderna, capitalista, eurocêntrica... e a imersão nesse Maranhão profundo das comunidades artesanais tradicionais me fez entender de forma impactante tais diferenças.

**2. Você é coordenadora do NIDA.
Fale-nos um pouco sobre este grupo
de pesquisa e oriente nossos
leitores que queiram saber mais sobre
as atividades desenvolvidas nele.**

Diante deste relato de como a minha experiência como pesquisadora se desenvolveu, assim que retornei do doutorado, criei o NIDA. O nome mudou algumas vezes, mas a sigla sempre foi a mesma. Hoje somos o grupo de pesquisas Narrativas em inovação, design e antropologia. A realidade produtiva com a qual me deparei me conduziu a uma formação na área das Ciências Sociais. Fiz mestrado na UFMA e doutorado na UERJ, ambos em Ciências Sociais. A epistemologia antropológica foi meu percurso em ambos, e essa formação entre design e antropologia foi fundante para a construção de nossas abordagens de pesquisa no NIDA. As abordagens de designantropologia são nosso eixo de ação.

Na prática, isso quer dizer que fazemos design por meio da antropologia, e isso foi se construindo ao longo do tempo, a partir de aproximações com teóricos europeus, com os quais aprendi muito, especialmente com Tim Ingold, com quem tive a honra de realizar uma missão de pesquisa na Universidade de Aberdeen em 2018, mas de lá para cá, penso que temos amadurecido em uma forma nossa de pensar, fazer e pesquisar em designantropologia. Escrevemos assim junto mesmo, porque representa um emaranhado, camadas de significados que se entrelaçam... designantropologia não é o design se valendo da antropologia para ser um design melhor, nem a antropologia se valendo do design para otimizar seus resultados. São conhecimentos que caminham juntos, que abrem fendas e rupturas nas abordagens tradicionais de ambos já que, juntos, potencializam as críticas às colonialidades

que tanto o design como a antropologia trazem no bojo de suas epistemologias.

Pois bem, neste sentido, para enfatizar a questão da sustentabilidade, vimos nos distanciando de modos de pensar o design como solucionador de problemas e como é possível pensar o nosso fazer como prática criativa em aliança com outras formas de saber, de vivenciar a questão de produção, sem uma vinculação com a produção industrial. Os estudos nas Ciências Sociais apresentam abordagens bem críticas ao que se denomina por antropoceno, pós-extratativismo, inconsciente ocidental capitalístico, capitaloceno, antropoceno, como sugere a Marisol de La Cadena (2018) diversas formas cunhadas por diferentes autores que, em suma e de modo simplório, eu resumo aqui, colocam em cheque as escolhas que fizemos para chegar a este estágio de desenvolvimento, e as mazelas ambientais, sociais e econômicas que colocaram o 1% no “topo” do mundo e os 99% restantes em situação calamitosa, de profunda vulnerabilidade.

Desta forma, o design que propomos é um design que busca regenerar, que busca a superação de uma forma positivista e desconectada da vida e desassociar de vez a ideia de uma sustentabilidade que possa ser acompanhada pelo termo desenvolvimento, uma categoria cooptada pela máquina de moer gente chamada neoliberalismo. Se há desenvolvimento, não há envolvimento!

Nosso maior aprendizado, nos últimos seis anos de pesquisa, tem sido a aproximação com o pensamento decolonial dos povos andinos, dos pensadores da latino-américa que debatem as relações colonizadas que foram forjadas em nosso território, em nossas culturas e que nos movem a querer construir outros parâmetros para pensar design e sustentabilidade, a partir de princípios relacionais, ligados aos tempos que divergem dos das sociedades ocidentais, aos ritmos da natureza e aos parentescos com ela. Na visão de comunidades tradicionais, rios, matas, são parentes, não são recursos a serem explorados. Lemos Ailton Krenak, Davi Kopenawa, Francy Baniwa, Nêgo Bispo... precisamos sorver essas fontes para aprendermos a regenerar aquilo que destruímos com a industrialização, com a globalização que nunca aconteceu como prometida. Não há mundo para todo mundo com essa globalização que privilegiou os super-ricos, contamos o cientista político Bruno Latour (2020). O que há é um colapso planetário que o Design, conforme se constituiu como ciência e prática, não tem dado conta de sustentar, de manter seu *modus operandi*.

Outra lição apreendida com as comunidades

tradicionais com as quais pesquisamos, são as profundas imbricações da produção artesanal com as questões de gênero, que tem sido uma das linhas de pesquisa mais potentes do NIDA, atualmente. Há dois anos ministramos a disciplina de pós-graduação Design e Gênero, uma disciplina interinstitucional com a USP, UBA, Universidade de Buenos Aires, UFMA e, mais recentemente a UFPE, na qual eu, Maria Cecilia Loschiavo, Ana Julia Melo, Eva Rolim e Griselda Flesler trazemos uma mirada interseccional para nossas práticas, e tem sido riquíssima, proporcionando muitos intercâmbios e a constituição da RelaDyG, a rede latinoamericana de design e gênero, com companheiras da Argentina, México, Chile, Colômbia, e aberta a quem chegar!

Entendemos que, por meio de designantropologia, temos a oportunidade de construir processos especulativos e críticos aos modos positivistas de se fazer ciência, no âmbito da sustentabilidade. Dissolver hierarquias nas práticas e relações de poder, deslocando o design do centro do processo criativo é uma chave importante para realizar o que Escobar (2016) denomina por pluriverso. É, neste sentido, que entendo nossas práticas, hoje, e uma referência para pensar as práticas colonizadoras e decolonizadoras na academia tem sido a antropóloga boliviana Silvia Rivera Cusicanqui (2010), que faz uma crítica às relações acadêmicas, as hierarquias e apartamentos que nossas próprias práticas produzem. Leitura fundamental! As formas de produzir ciência, ainda que a partir de uma perspectiva nomeada decolonial, pode ser muito opressora e hierarquizante. Ontem saiu na Folha de São Paulo uma matéria sobre o livro incrível da filósofa Isabelle Stengers, “Uma outra ciência é possível: Manifesto por uma desaceleração das ciências”, em que a autora clama pela desaceleração das ciências e do produtivismo acadêmico. Essa aceleração que vivemos é o que nos desconecta de uma vida plena de sentido, de uma produção mais racional, localizada e mais sustentável... temos feito essas leituras, debatido, e tentado fazer nossa parte com nossas pesquisas, nossas palestras e nossos eventos. Mas é um trabalho de formiguinha, como sempre digo à turma do NIDA.

Acho que estamos em um momento bastante efervescente, construindo nossas abordagens de pesquisa, nosso escopo de diálogo com o design, com a antropologia, e nos distanciando um pouco das abordagens do Norte Global. Acho que é um momento de amadurecimento. Já estamos com nove anos de um trabalho de formação intenso, com ciclos de estudos anuais para embasar nossos

pensamentos e pesquisas.

Para quem quiser conhecer um pouco mais do NIDA, temos nosso Instagram, @nidaufma, e nosso site que está sendo construído neste momento, e residirá brevemente em www.nida.ufma.br.

3. Indique as principais atividades que vem realizando na forma de pesquisa-ensino-extensão.

Atualmente, temos três projetos guarda-chuvas em vigor dialogando com a crítica ao antropoceno, às práticas desfuturizantes de design e rumo a uma ideia de autonomia produtiva.

O primeiro deles, que coordeno em parceria com Luiz Lagares, que realiza pós-doutorado no NIDA, intitulado “Crescimento econômico por meio do design e da economia solidária: autonomia e sustentabilidade de produtos artesanais do Maranhão”, financiado pela FAPEMA. A proposta da economia solidária é promover um novo olhar para os valores da produção, em nosso caso de produtos artesanais, de forma mais sustentável. Esse projeto busca aliar os processos participativos do design, suas ferramentas de produção de autonomia produtiva com os conhecimentos da economia solidária.

Atuamos com o CRESOL, o Centro de Referência de Economia Solidária do Maranhão e grupos produtivos vinculados a eles, pensando processos de desmaterialização da produção e fomento dos valores locais das comunidades vinculados a seus produtos, seus processos e sua sistematização de serviços baseados em turismo de base comunitária. Além do Luiz, a Luiza Farias e Taís Figueiredo desenvolvem suas pesquisas de mestrado também no âmbito deste projeto. Ainda, Thaynara Gonçalves, Andreyra Lima e Isabella Martins desenvolvem suas atividades de iniciação científica neste projeto.

O segundo projeto, de extensão, também financiado pela FAPEMA e pelo SEBRAE, intitulado “Cocriando com o Boi da Floresta”, envolve a produção de narrativas situadas para imaginação de futuros com a comunidade do Boi da Floresta, grupo de bumba-meu-boi do sotaque da Baixada, que se localiza no maior quilombo urbano do Brasil, o quilombo urbano da Liberdade. O papel social do “Boi” na comunidade é fundamental para a coesão, para a oferta de trabalho e renda, para assistência social a jovens, mulheres e idosos. A brincadeira acontece no período de São João e a produção de indumentárias com ricos bordados, instrumentos e oficinas de dança e toques

são intensas no primeiro semestre do ano. Contudo, no segundo semestre, com a ausência das atividades, as pessoas caem em situação de vulnerabilidade. Nossa ação, iniciada com a dissertação de Priscila Coelho, defendida em 2023, buscou suporte financeiro para o desenvolvimento de uma loja de produtos com identidade cultural, produzidas pelos integrantes da comunidade do boi, envolvendo aspectos de sustentabilidade econômica e sociocultural.

Em paralelo, desenvolve-se outro projeto de pesquisa, para a criação de um memorial, na sede do Boi, Memorial Apolônio Melônio, em homenagem póstuma ao fundador da brincadeira. A partir da coleta de narrativas de hoje, de ontem e de amanhã, iniciamos um processo de design crítico e especulativo na comunidade, com sessões de fotoelicitação para coleta de narrativas e imaginação de futuros sobre a comunidade, sobre a brincadeira e seu fundador. Nesta ação, Nono Rodrigues desenvolve plano de trabalho como bolsista de extensão e Marcella Abreu, sua pesquisa de mestrado.

Finalmente, temos o projeto “Gender hubs - laboratórios de mapeamento, acompanhamento, análise e prototipação de políticas universitárias direcionadas à equidade de gênero, por meio do design”, recém-aprovado no edital Universal do CNPq, coordenado por mim e com equipe formada pelas docentes de nossa disciplina Design e Gênero - Maria Cecília, Griselda, Eva - e também as pesquisadoras Diana Helene Ramos (UFAL) e Bruna Vasconcelos (UFABC). O objetivo é, por meio do design participativo, prototipar políticas públicas de gênero nas universidades envolvidas, a partir das vivências das opressões e dificuldades nos cotidianos dos campi. O projeto será iniciado em breve, e ainda não há discentes vinculados a ele.

São muitas frentes, muitas atividades práticas... é uma característica nossa de fazer pesquisa fora do laboratório... O campo é o nosso “sul”, de onde construímos a partir de saberes tácitos, com as pessoas, e em diálogo com as diversas cosmologias.

5 - E essa essência fará parte do SDS 2025? Conte-nos sobre as expectativas para o evento.

Sim, claro! Essa decisão em pleitear que o Simpósio de Design Sustentável aconteça aqui em São Luís, em 2025, é uma grande oportunidade para o Programa de Pós-graduação em design da UFMA que busca, neste momento, a sua consolidação e a implantação de um doutorado

acadêmico, que aprofunde as pesquisas sobre as necessidades locais e regionais, como vêm acontecendo desde a sua criação, em 2012, em nível de mestrado.

O décimo SDS – Simpósio de Design Sustentável + Sustainable Design Symposium propõe-se como o primeiro a ser realizado na Amazônia Legal, região para a qual os olhos do mundo se dirigem. As mudanças climáticas são reflexos profundos de uma mudança sem precedentes da qual fazemos parte e é na emergência de confluirmos pensamentos, reflexões e ações que convidamos a todos a pensarem em **mundos por vir**.

Antes de ser um balizador da produção, a temática é um chamado para a presença de vozes, sonhos, histórias, materiais, materialidades e tecnologias para reimaginar este mundo em diversos outros. Como criar mundos para um futuro possível por meio do design?

Propomos um debate crítico acerca das questões multidimensionais da sustentabilidade, envolvendo a dimensão política, as questões relacionadas ao mundo do trabalho, os recortes de gênero, os debates pós-extrativistas, os comportamentos de produção e consumo, os debates sobre as agências no antropoceno, as poéticas e estéticas que promovem e dão corpo a esta discussão.

A comissão organizadora é composta por mim, pelos docentes Denilson Moreira Santos, também do PPGDg-UFMA, Gisele Reis Saraiva do DEDET-UFMA, Camila Andrade dos Santos, Nayara Chaves, Márcio Lima, todos egressos do nosso programa e docentes do IFMA. Envolvemos também nossos egressos, doutorandos em outros programas, Tayomara Santos (UEMG), Samuel Miranda (UNISINOS), além de mestrandos e mestrandas da linha de pesquisa Design: materiais, processos e tecnologias.

Nesta linha, de pesquisa, Design: materiais, processos e tecnologias, desenvolvemos pesquisas que contemplam os diversos eixos do SDS. De um total de 104 dissertações defendidas no PPGDg, 40 situam-se nesta linha, e aqui podemos exemplificar com algumas delas, as dos egressos que hoje fazem parte da comissão organizadora do SDS 2025:

- [Correspondências por meio de sementes: saberes, sustentabilidade e produção artesanal – Tayomara Santos dos Santos.](#)
- [O avesso: alcances e limites da consultoria em design na Associação de Mulheres da Agulha Criativa, em São João dos Patos – MA – Márcio Soares Lima.](#)
- [No cabide: a percepção das digital influencers sobre a estratégia de design para otimização de produtos – Nayara Chaves Ferreira Perpetuo.](#)

Essas pesquisas, assim como muitas das demais linhas do PPGDg-UFMA, dialogam fortemente com a diversidade cultural, social e ambiental do Maranhão. Só para exemplificar, trago alguns dados: O censo 2022 informa que o Maranhão é o 3º estado com maior população indígena do Nordeste; mais de 72% vive dentro de territórios indígenas. O Maranhão tem a 2ª maior população quilombola do Brasil, aponta levantamento inédito do IBGE. No ano de 2021, o PIB maranhense foi de R\$ 124,981 bilhões, 4º maior do Nordeste e 17º maior do Brasil. Quanto ao perfil setorial da economia maranhense, em 2021, destaca-se, primeiramente, o setor de serviços, com 67,7% de representatividade.

Acreditamos que pensar a sustentabilidade e a imaginação de mundos por vir neste estado é fundamental para a autonomia produtiva, para a geração de trabalho e renda, de forma consciente e coerente com a diversidade cultural daqui. E não apenas daqui, mas com o nosso entorno, com os estados do Nordeste e do Norte do Brasil.

Estamos muito felizes em realizar este evento, pensamos em um conceito itinerante para o X SDS, acontecendo em nosso centro histórico, em comunidades ao redor da cidade, envolvendo formato dinâmico e que privilegie diversos saberes! Deixamos nosso convite a todo campo do Design, e que possamos pensar mundos por vir aqui no Maranhão em 2025!

REFERÊNCIAS

BANIWA, F.: BANIWA, F. **O umbigo do mundo**. Rio de Janeiro: Dantes, 2023.

DE LA CADENA, M. Natureza incomum: histórias do antrope-cego. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, Brasil, n. 69, p. 95-117, abril. 2018.

ESCOBAR, A. **Autonomía y diseño**. La realización de

lo comunal. Popayán: Universidad del Cauca. Sello Editorial, 2016.

KOPENAWA, D.; ALBERT, B. **A queda do céu.** PALavras de um xamã yanomami. São Paulo: Cia das Letras, 2015.

KRENAK, Ailton. **Ideias para adiar o fim do mundo.** São Paulo: Cia das Letras, 2020.

_____. **Futuro é ancestral.** São Paulo: Cia das Letras, 2023.

LATOIR, B. **Onde aterrar?** Como se orientar politicamente no Antropoceno. 1ª. Ed. Rio de Janeiro: Bazar do Tempo, 2020.

RIVERA CUSICANQUI, S. **Ch'ixinakax utxiwa:** una reflexión sobre prácticas y discursos descolonizadores. Buenos Aires: Tinta Limón, 2010.

STENGERS, I. **Uma outra ciência é possível:** Manifesto por uma desaceleração das ciências. Rio de Janeiro: Bazar do Tempo, 2023.