

BIOMIMÉTICA, GEOMETRIA COMPLEXA E MODELAGEM PARAMÉTRICA: UMA ESTRUTURA DE SABER PARA ARQUITETURA

BIOMIMETICS, COMPLEX GEOMETRY AND PARAMETRIC MODELING: A STRUCTURE OF KNOWLEDGE FOR ARCHITECTURE

BRUNNA PEREIRA DE OLIVEIRA | Universidade Federal de Pelotas (UFPe), Brasil

JANICE DE FREITAS PIRES, Dr^a. | Universidade Federal de Pelotas (UFPe), Brasil

RESUMO

Este artigo está vinculado ao Projeto de Pesquisa AMPARA, da FAUrb/UFPe, que trata da construção de referenciais didáticos para a adoção de técnicas de modelagem paramétrica e fabricação digital de superfícies complexas da arquitetura por meio do estudo sobre o emprego de tais geometrias na prática profissional. Em trabalho anterior, foram identificadas as abordagens da Biomimética e da modelagem paramétrica como potencializadas à exploração de tais geometrias. No mesmo estudo, a partir de uma teoria didática e sua noção estruturada do saber, foi feita uma sistematização de tais conceitos. Neste trabalho se apresenta uma proposta de explicitação do saber envolvido na geração de geometrias complexas da natureza e na modelagem paramétrica destas. Como resultado, tal saber é estruturado em esquemas visuais – mapas conceituais – que se vinculam a uma rede de conceitos que tem o propósito de integrar tais saberes com as abordagens de arquitetura Tectônica e Estereotômica, apresentadas aos estudantes de Arquitetura e Urbanismo no atelier de projeto em estágios iniciais de formação.

PALAVRAS CHAVE

Biomimética; Geometria Complexa; Estruturas de Saber.

ABSTRACT

This article is linked to the AMPARA Research Project, from FAUrb/UFPe, which deals with the construction of didactic references for the adoption of parametric modeling techniques and digital fabrication of complex architectural surfaces through the study of the use of such geometries in professional practice. In a previous work, the approaches of Biomimicry and parametric modeling were identified as potentiating the exploration of such geometries. In the same study, based on a didactic theory and its structured notion of knowledge, a systematization of such concepts was made. This work presents a proposal to explain the knowledge involved in the generation of complex geometries in nature and in their parametric modeling. As a result, such knowledge is structured in visual schemes - conceptual maps - that are linked to a network of concepts that aims to integrate such knowledge with the approaches of Tectonic and Stereotomic architecture, presented to students of Architecture and Urbanism in the design studio in the initial years of training.

KEYWORDS

Biomimicry; Complex Geometry; Knowledge Structures.



1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho está inserido no Projeto de pesquisa AMPARA (Análise, Modelagem PARAMétrica e Fabricação Digital da geometria complexa da arquitetura: construção de referenciais didáticos para o ensino de projeto), da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAUrb) da Universidade Federal de Pelotas (UFPe), que possui como objetivo principal promover a construção de referenciais didáticos, por meio do estudo do emprego de superfícies complexas da arquitetura, para a adoção de técnicas de representação gráfica digital - como a modelagem paramétrica - e fabricação digital, como suporte à ação projetual. Considerando-se que a atividade de arquitetura e urbanismo tem um grande compromisso social na busca de minimizar os efeitos causados pelos processos envolvidos em todas as atividades que a permeiam - concepção projetual, escolha e manipulação dos materiais e processos construtivos e desempenho do edifício ao longo de seu ciclo de vida, os quais na maioria das vezes não contemplam a busca da sustentabilidade necessária no contexto atual de degradação ambiental - torna-se importante empregar estratégias e técnicas que sejam minimamente responsivas durante o processo projetual.

Além disso, essa questão também permeia a formação em arquitetura, sendo necessário lidar, nesse contexto, não apenas com tais estratégias, como também com a estrutura de saber subjacente, que, nos termos da Teoria da Transposição Didática e da Teoria Antropológica da Didática de CHEVALLARD (1991; 1999), é dinâmica e está em constante transformação. De acordo com essas teorias, o saber se estrutura com base em uma praxeologia da atividade humana que, dependendo do contexto no qual transita, pode sofrer transformações e adaptações e é essencialmente composto pelos seguintes elementos: uma tarefa ou um conjunto de tarefas a serem realizadas, que podem ser denominadas como um problema; as técnicas adequadas à resolução das tarefas; as tecnologias, que explicam, justificam e dão suporte ao desenvolvimento e aplicação das técnicas; e as teorias, que tem o mesmo papel em relação às tecnologias, ou seja, explicam, justificam e dão suporte a elas.

Sob essa perspectiva, na área de representação gráfica para o projeto de arquitetura, essas teorias têm sido utilizadas para identificar e explicitar as estruturas de saber que envolvem o processo projetual e a sua representação, especialmente a modelagem digital com o aporte do saber geométrico inerente a esta. Nesse contexto, uma das abordagens tecnológicas atuais da área envolve o denominado projeto paramétrico, que, de acordo com

WOODBURY (2010), baseia-se em um modelo digital descrito através de parâmetros e relações entre os seus entes geométricos, possibilitando uma grande variedade de soluções alternativas. Este tipo de processo projetual tem sido empregado na concepção de geometrias complexas com atributos de vários tipos de desempenho, como térmico, estrutural e de conforto ambiental, possibilitando executar análises dinâmicas em tempo real por meio de modelos digitais paramétricos associativos.

Acrescido a isso, a Biomimética se apresenta como uma ciência com grande potencial para explicitar e aplicar conceitos da geometria complexa na arquitetura que possuem integração funcional e eficiência estrutural, a partir da análise dos processos dos fenômenos naturais. Isso porque, essa ciência, também denominada Biônica, consiste, segundo BENYUS (2003), no estudo dos modelos da natureza e na utilização de suas soluções e processos - formas, funções, comportamentos e metodologias - como inspiração à resolução de problemas. Além disso, embora essa abordagem já tenha permeado soluções arquitetônicas no passado, como nas obras de Gaudí, Frei Otto e Félix Candela, nos últimos 20 anos, as formas da natureza são vistas cada vez mais como requisitos projetuais em obras arquitetônicas (POTTMANN et al, 2007). Isso ocorre porque, conforme PEREZ-GARCIA e GÓMEZ-MARTÍNEZ (2009), o desenvolvimento das estruturas da natureza se dá com o objetivo de sempre atingir soluções energéticas ideais em longos prazos, sendo estruturadas em saberes que, na arquitetura, fundamentam questões de desempenho. Desse modo, a associação da representação paramétrica ao conceito de Biomimética oferece subsídios para a geração de modelos com formas complexas e otimizadas, as quais podem ser empregadas como solução projetual frente ao propósito de minimizar os efeitos causados no meio ambiente em que o projeto será inserido.

No contexto em que este trabalho se insere, observa-se no ateliê de projeto do segundo semestre do curso de arquitetura da Universidade Federal de Pelotas a introdução dos conceitos de arquitetura Tectônica e Estereotômica, fundamentados por BAEZA (2003), para aquisição da consciência construtiva e, posteriormente, a exploração de superfícies curvas, com ênfase no emprego de abóbadas. Acrescido a isso, conforme LEGAULT (2005), tais abordagens possuem grande importância no ensino de arquitetura e podem proporcionar avanços a partir de sua aplicação. No entanto, em tal contexto de ensino, a exploração do emprego de geometrias curvas no projeto de arquitetura restringe-se a classe de superfícies cônicas

e cilíndricas, não abarcando formas mais complexas e otimizadas tais como as superfícies de dupla curvatura. Ademais, os métodos de concepção e de representação de tais estruturas no ateliê de projeto ainda são desenvolvidos com técnicas tradicionais de representação, sem a adoção da potencialidade do desenho paramétrico para a configuração de formas otimizadas, as quais poderiam atender alguns princípios da Biomimética.

Desse modo, tenta-se compreender de que maneiras a Biomimética e a representação gráfica digital, particularmente a modelagem paramétrica, podem se integrar e colaborar à compreensão de tais conceitos para sua inserção no ensino de arquitetura. O estudo tem como principal objetivo sistematizar a estrutura de saber envolvida na geração de geometrias complexas, visando integrá-los com as abordagens apresentadas aos estudantes de Arquitetura no atelier de projeto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O termo Biônica ou Biomimética consiste na “imitação consciente da genialidade da vida” (BENYUS, 1997), isto é, trata-se de uma ciência que estuda os sistemas naturais e os seus modelos de maneira a utiliza-los como inspiração para reproduzir seus princípios em prol do desenvolvimento de projetos ou resolução de problemas. Segundo DETANICO, et al (2010), o emprego da Biomimética permite a criação de formas, funções e/ou comportamentos análogos. O advento da Biomimética é de suma importância para a ecologia e traz consigo uma mudança de paradigma na contemporaneidade. Isso porque,

“Numa sociedade acostumada a dominar ou ‘melhorar’ a natureza, essa respeitosa imitação, é uma abordagem inteiramente nova, uma verdadeira revolução. Diferentemente da Revolução Industrial, a Revolução Biomimética inaugura uma era cujas bases assentam não naquilo que podemos extrair da natureza, mas no que podemos aprender com ela.” (BENYUS, 1997)

Assim, tal ciência possui um caráter fundamentalmente ecológico e, de acordo com ARRUDA E FREITAS (2018), preza os valores éticos que são imprescindíveis ao ser humano e representa uma convivência harmoniosa com o meio ambiente não construído. Dessa maneira, é possível observar a importância dessa ciência para lidar com a atual crise ecológica global e para proteger e garantir a qualidade de vida na Terra. As soluções, construídas a partir da natureza como modelo, medida e mentora, podem contribuir para o processo projetual não apenas na forma de analogia, como também a partir dos padrões

geométricos e/ou matemáticos que envolvem as estruturas da natureza (DETANICO, et al, 2010).

No âmbito da arquitetura e em um contexto acadêmico específico, esta abordagem já era utilizada no passado, especialmente nas obras de arquitetos como Gaudí, Frei Otto e Felix Candela, e em disciplinas de análises dos fenômenos naturais, suas estruturas e o funcionamento dos organismos vivos na Bauhaus (ARRUDA, 2002). Além disso, os projetos arquitetônicos que possuem sua metodologia e forma inspiradas na natureza estão estruturados em saberes que fundamentam questões de desempenho na arquitetura, a partir do conceito de otimização.

Nas últimas duas décadas o avanço da técnica com o auxílio de ferramentas computacionais tem gerado novas formas de representação que revolucionam o processo projetual. A representação e modelagem paramétrica, que exige a extração e definição sistemática dos parâmetros e princípios que compõem os elementos arquitetônicos (HERNANDEZ, 2006), possibilita uma grande variedade de soluções alternativas, bem como a concepção das formas mais complexas, em particular as recorrentes na natureza, o que proporciona rapidez e fluidez do desenho e, conseqüentemente, do projeto.

Segundo KOLAREVIC (2003), é de suma importância os novos conhecimentos sobre geometrias não-euclidianas – complexas – e parametrização. Isso porque, não apenas encontram-se, cada vez mais, pesquisas e edifícios construídos a partir dessas novas técnicas de modelagem geométrica e fabricação digital, mas também porque tais tecnologias possuem a capacidade de calcular rapidamente complexas fórmulas matemáticas (FLORIO, 2011). Assim, a modelagem paramétrica viabiliza a geração de geometrias complexas, bem como potencializa a explicitação do saber que envolve as estruturas presentes na natureza a partir da programação de regras e relações entre os entes geométricos que as compõe.

Ainda de acordo com FLORIO (2011), a arquitetura internacional contemporânea tem sido amparada pela modelagem paramétrica e pela fabricação digital nessa mudança de paradigma que se vive atualmente no modo de construir. Além disso, “A interconexão de códigos, como os processos da natureza, computação paramétrica e fabricação digital, aponta para soluções arquitetônicas mais adequadas” (OLIVEIRA, 2012) às demandas da contemporaneidade. No contexto de ensino em arquitetura, a modelagem paramétrica por meio de uma linguagem de programação visual, como ocorre no plug-in Grasshopper, presente no software Rhinoceros, tem contribuído para avanços significativos sobre o domínio de formas de

grande complexidade (FLORIO, 2011), especialmente às geometrias inspiradas na natureza, e a democratização desse modo de projetar. Isso acontece porque o plug-in possui uma lógica operacional mais intuitiva devido ao fato de os scripts estarem embutidos nas sequências de comandos (componentes), não necessitando o usuário ter conhecimento em linguagem de programação.

A Teoria da Transposição Didática (CHEVALLARD, 1991), a partir de sua noção estruturada de um saber, surge como uma metodologia potencial para explicitar tal saber. Isso porque, tal teoria diz que a estrutura de um saber se constitui por quatro elementos: problema, técnicas (de resolução deste problema), tecnologias (discursos que produzem e explicam as técnicas) e teorias (que produzem e justificam as tecnologias). A teoria ainda destaca que em um contexto educativo os quatro elementos devam estar presentes e integrados. Ao mesmo tempo em que tal explicitação das estruturas de um saber permite realizar conexões entre diversos temas envolvidos em uma dada abordagem. Isto faz com que o saber a ser ensinado não se encerre em um saber-fazer (bloco mais prático do saber, da aplicação da técnica em si) e seja contextualizado a partir do saber teórico e tecnológico.

Os mapas conceituais (NOVAK; CAÑAS, 2006) possuem a capacidade de explicitar as estruturas de um saber por meio de representações de um conjunto de conceitos dispostos e interligados entre si. Nesse sentido, através do recurso CmapTools (<http://cmap.ihmc.us/>), é possibilitada a sistematização da estrutura de um ou mais saberes com a visualização das conexões entre cada um dos elementos que compõem tais saberes (PIRES, 2017). Além disso, tais estruturas estão sempre abertas à ampliação ou reorganização provocada pela adição e/ou remoção de elementos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho trata-se de um processo de estruturação de referenciais didáticos que passou, primeiramente, por um processo de revisão bibliográfica, realizado em OLIVEIRA, PIRES (2021), sobre as relações existentes entre a Biomimética, a Arquitetura, o processo projetual, a representação gráfica, a arquitetura Tectônica e Estereotômica e a abordagem paramétrica de projeto e de representação, com base nos estudos de SANTOS (2010), LOBACH (2000), BAEZA (2003) e REBELLO (2000).

Posteriormente, foi desenvolvida uma análise geométrica e a modelagem paramétrica do Restaurante Los Manantiales de Félix Candela. Na sequência, o mesmo foi desenvolvido para uma atividade de projeto do segundo semestre do curso de Arquitetura da UFPel, realizada, anteriormente, pela autora deste estudo na disciplina de Projeto de Arquitetura II, no ano de 2019, com técnicas tradicionais de representação, em que foi aplicado um tipo de estrutura curva no projeto, seguindo o conceito de Estereotômica. Ambas as atividades utilizaram o software de modelagem tridimensional Rhinoceros e o plug-in de modelagem paramétrica por programação visual Grasshopper. Durante o processo, foram sendo explicitados os elementos de saber associados à representação das geometrias complexas da arquitetura integrados ao saber que envolve a atividade de projeto, de acordo com a noção estruturada de um saber, de CHEVALLARD (1999), estruturados no formato de uma rede de conceitos, em mapas conceituais, desenvolvidos no software CMAP tools (<https://cmap.ihmc.us/>). Isso se deu pela possibilidade de compartilhamento em rede, em servidores e sites, no formato html, seguindo a metodologia adotada em PIRES (2017).

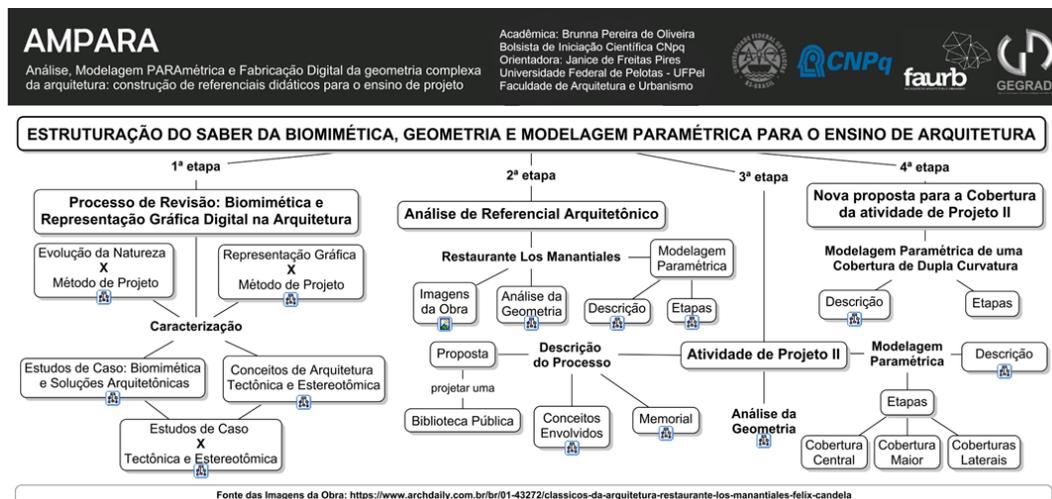


Figura 01: Mapa dirigente da estrutura de saber explicitada no estudo.

Fonte: elaborado pelas autoras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estruturação desenvolvida até então já permitiu integrar os conceitos e técnicas de modelagem paramétrica de geometrias complexas da natureza com as potencialidades da Biomimética e dos conceitos de Tectônica e Estereotômica. Nesse sentido, essa rede de conceitos organizou-se em um mapa dirigente (Figura 1) com quatro etapas principais - "Processo de Revisão: Biomimética e Representação Gráfica Digital na Arquitetura", "Análise de Referencial Arquitetônico", "Atividade de Projeto II" e "Nova proposta para a Cobertura da atividade de Projeto II" - as quais possuem sub estruturas organizadas em outros mapas de especificação do saber.

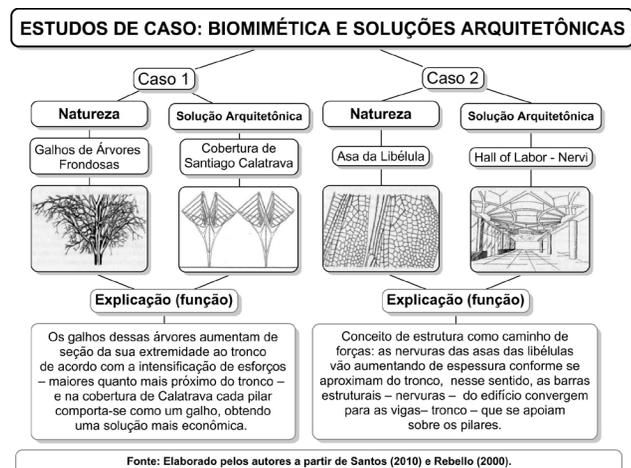


Figura 02: Estudos de Caso Parte 1 - parte do processo de revisão estruturado.
 Fonte: elaborado pelas autoras.

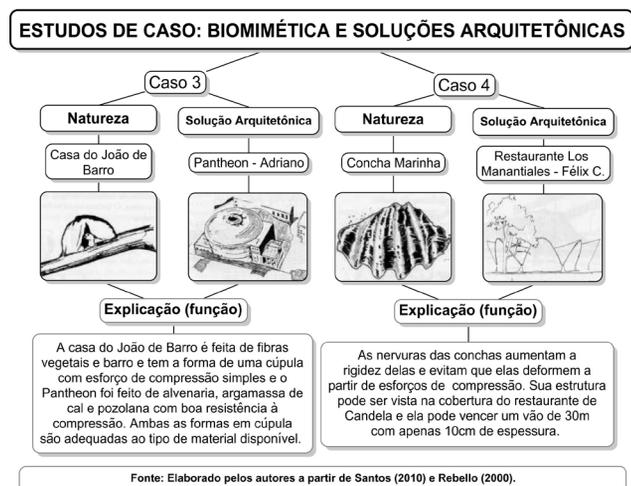
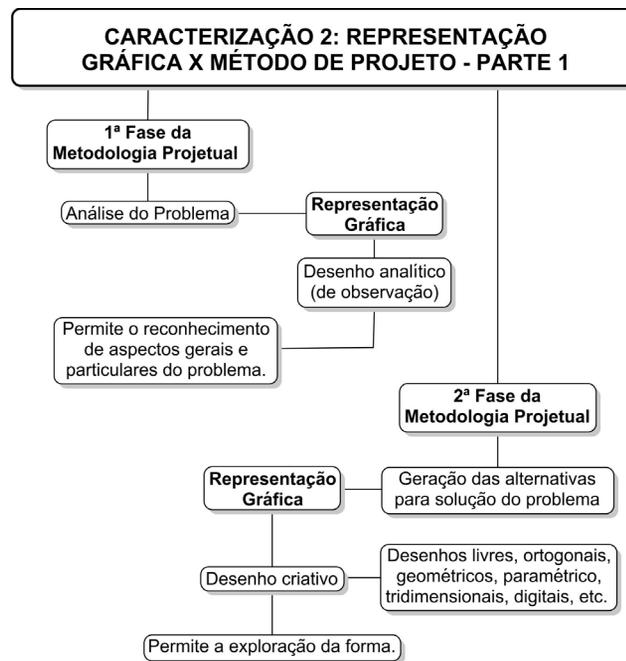


Figura 03: Estudos de Caso Parte 2 - parte do processo de revisão estruturado.
 Fonte: elaborado pelas autoras.

Dessa maneira, a primeira etapa da estruturação da rede de conceitos consistiu em sistematizar os resultados dos referenciais do processo de revisão desenvolvido em AUTORAS (2021). Os elementos explicitam como a

Biomimética pode ser utilizada como suporte ao método de projeto e à obtenção de soluções arquitetônicas (Figuras 2 e 3) em conjunto com a representação gráfica digital (Figuras 4 e 5).



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Santos (2010) e das quatro fases do trabalho projetual de LOBACH (2000).

Figura 04: Representação Gráfica X Método de Projeto Parte 1 - parte do processo de revisão estruturado.
 Fonte: elaborado pelas autoras.

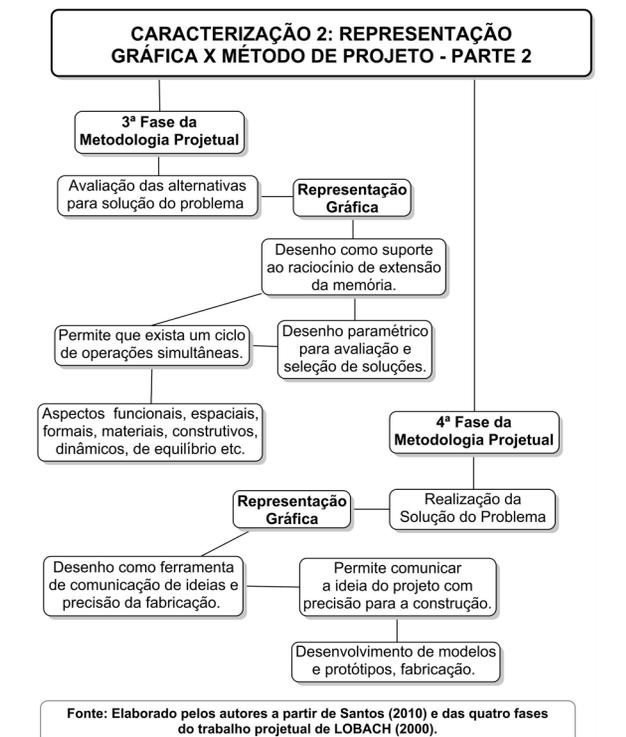


Figura 05: Representação Gráfica X Método de Projeto Parte 2 - parte do processo de revisão estruturado.
 Fonte: elaborado pelas autoras.

Ademais, essa etapa permitiu refletir que a análise da natureza auxilia na compreensão dos termos de arquitetura Tectônica e Estereotômica de forma didática no ateliê de projeto, conforme explicitado no mapa da Figura 6 e 7.

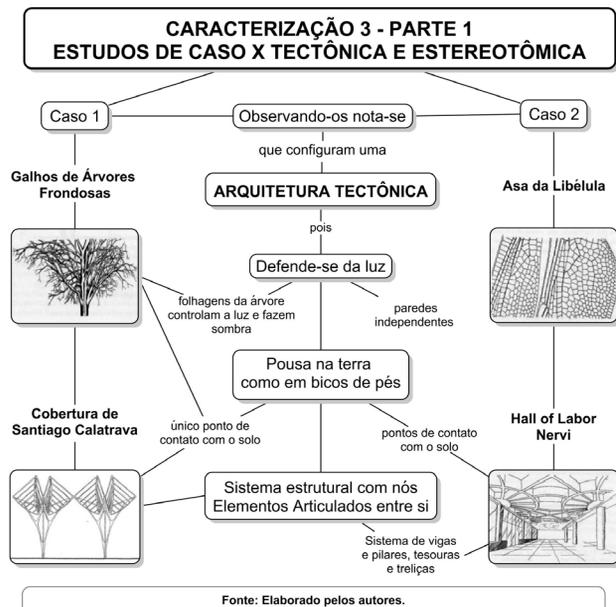


Figura 06: Estudos de Caso X Tectônica e Estereotômica Parte 1 - parte do processo de revisão estruturado.
Fonte: elaborado pelas autoras.



Figura 07: Estudos de Caso X Tectônica e Estereotômica Parte 2 - parte do processo de revisão estruturado.
Fonte: elaborado pelas autoras.

Posteriormente, como método de reconhecimento dos conceitos e técnicas de geração de geometrias complexas otimizadas, explicitou-se, em um mapa conceitual específico, a estrutura de saber referente à análise geométrica do Restaurante Los Manantiales de Félix Candela, que se estrutura a partir de uma composição

de superfícies de dupla curvatura, assim como pode ser observado nas Figuras 08 e 09, e, após, a programação visual correspondente à modelagem paramétrica (Figura 10) e uma sequência estruturada e explícita dos passos dessa modelagem, ou seja, a descrição de um algoritmo, conforme as Figuras 11 e 12. A escolha desse referencial se deu pela sua geometria complexa ser inspirada na natureza e pela sua relação com os conceitos abordados e identificados na etapa de estruturação anterior.

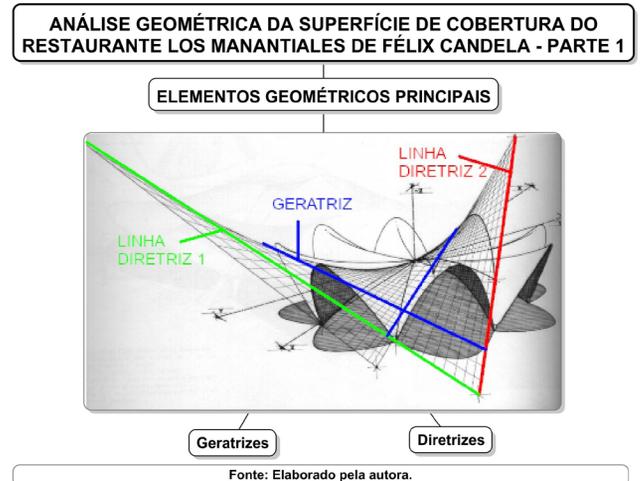


Figura 08: Análise geométrica da superfície de cobertura do Restaurante Los Manantiales de Félix Candela – Parte 1.
Fonte: elaborado pelas autoras.

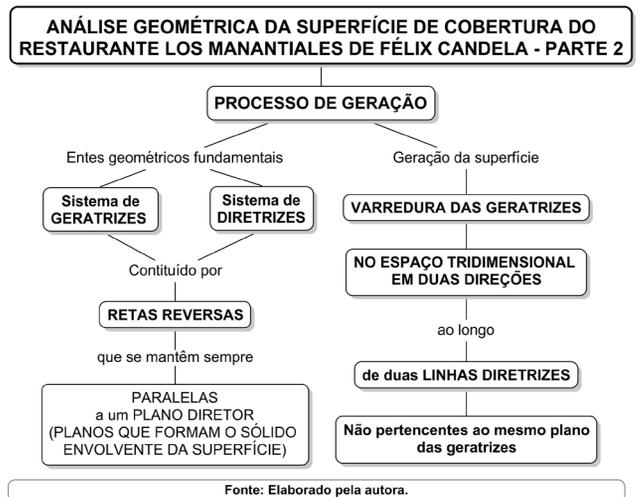


Figura 09: Análise geométrica da superfície de cobertura do Restaurante Los Manantiales de Félix Candela – Parte 2.
Fonte: elaborado pelas autoras.

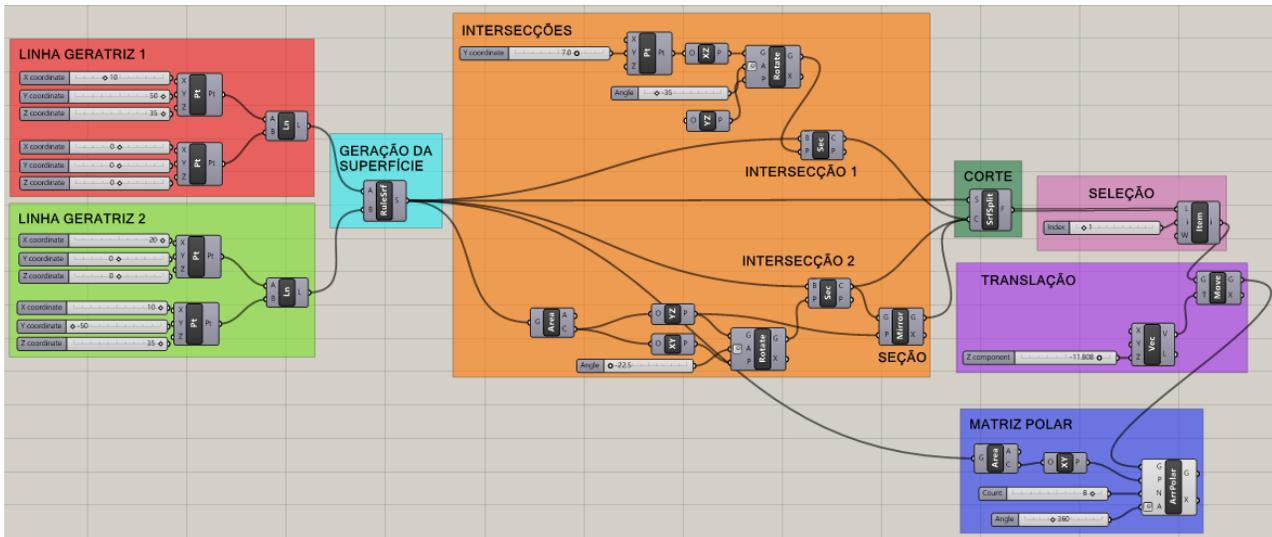


Figura 10: Programação da modelagem da superfície de cobertura do Restaurante Los Manantiales de Félix Candela.
Fonte: elaborado pelas autoras.

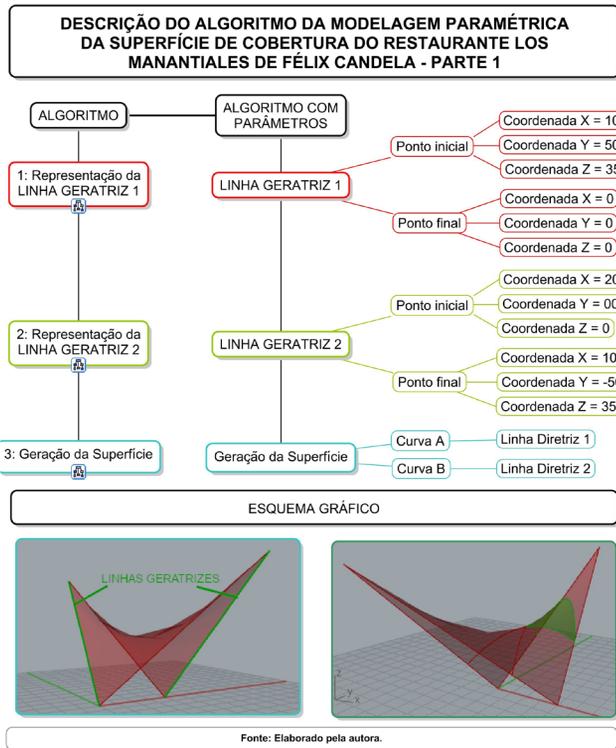


Figura 11: Descrição do algoritmo de modelagem da superfície de cobertura do Restaurante Los Manantiales de Félix Candela – Parte 1.
Fonte: elaborado pelas autoras.

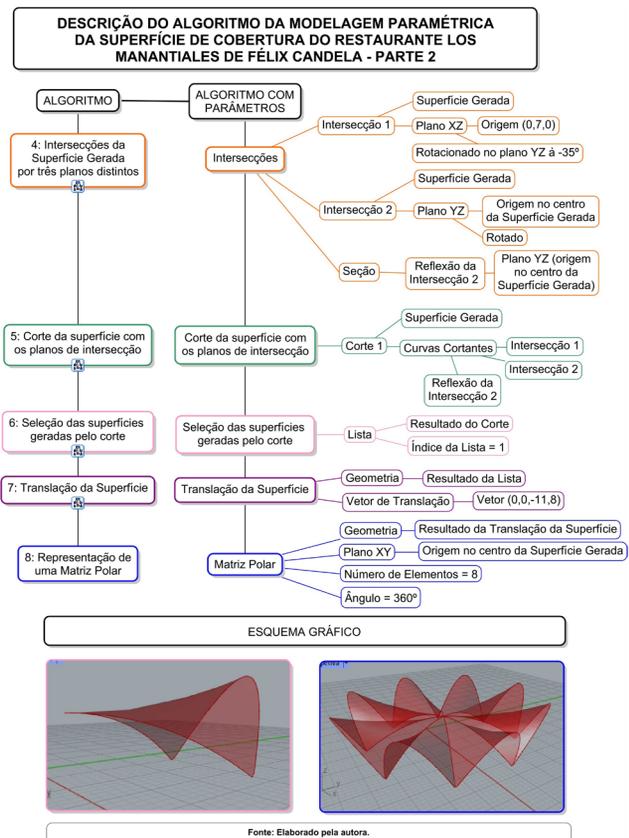


Figura 12: Descrição do algoritmo de modelagem da superfície de cobertura do Restaurante Los Manantiales de Félix Candela – Parte 2.
Fonte: elaborado pelas autoras.

Além disso, também se fez sub estruturas organizadas em outros mapas de especificação do saber da descrição do algoritmo (Figura 13).

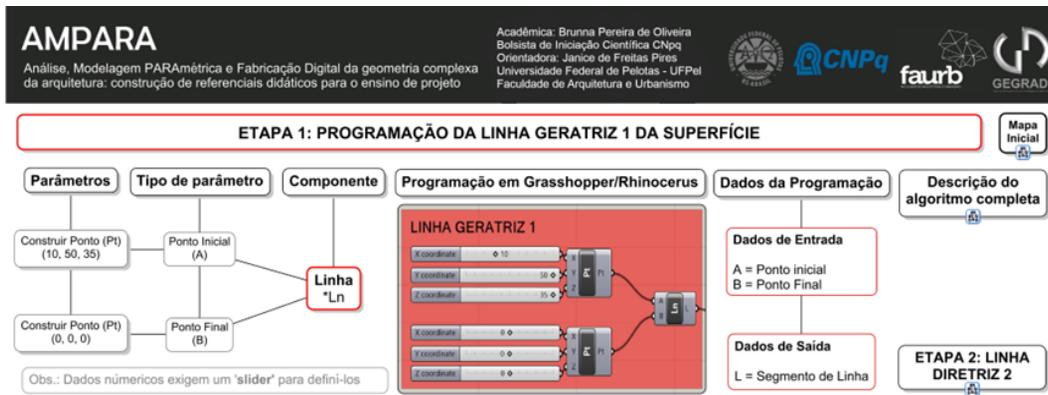


Figura 13: Etapa 1 da descrição do algoritmo de modelagem da superfície de cobertura do Restaurante Los Manantiales de Félix Candela.
Fonte: elaborado pelas autoras.

Seguindo a mesma metodologia, analisaram-se os saberes da atividade de projeto desenvolvida pela autora deste trabalho para explicitar os conceitos de projeto e a geometria que a envolvem, conforme as Figuras 14 e 15. Tendo-se por base tais saberes, desenvolveu-se a descrição do algoritmo para a modelagem paramétrica da estrutura utilizada nas superfícies de cobertura do projeto e a sua programação (Figuras 16 e 17).

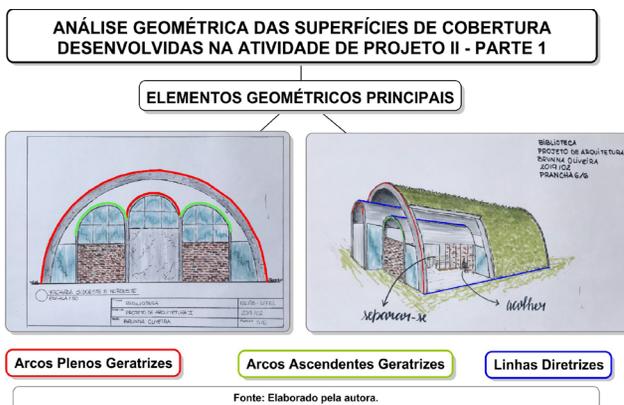


Figura 14: Análise geométrica das superfícies de cobertura desenvolvidas na atividade de Projeto II – Parte 1.
Fonte: elaborado pelas autoras.

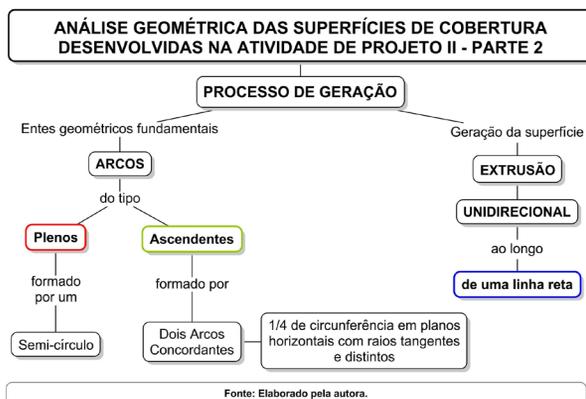


Figura 15: Análise geométrica das superfícies de cobertura desenvolvidas na atividade de Projeto II – Parte 2.
Fonte: elaborado pelas autoras.

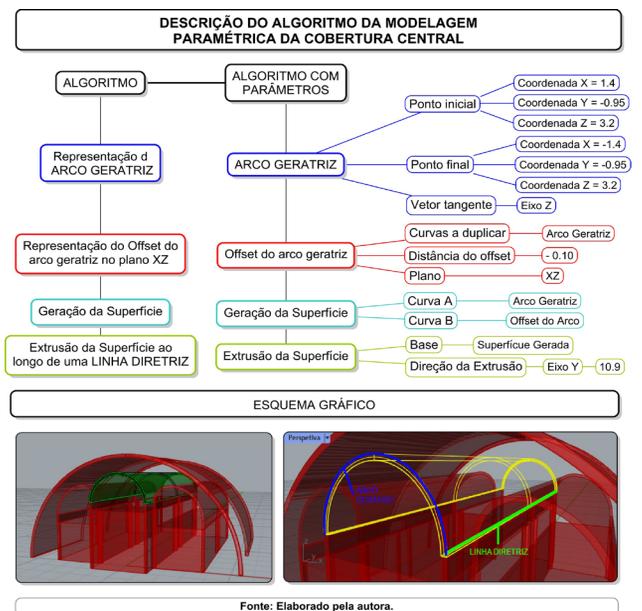


Figura 16: Descrição do algoritmo de modelagem de uma das superfícies de cobertura da atividade de projeto – Parte 1.
Fonte: elaborado pelas autoras.



Figura 17: Programação da modelagem de uma das superfícies de cobertura da atividade de projeto.
Fonte: elaborado pelas autoras.

Na sequência e por fim, realizou-se a proposição de uma nova superfície para substituir as coberturas originais da atividade de projeto, agora inspirada nas potencialidades da geometria de dupla curvatura da cobertura do Restaurante Los Manantiales de Félix Candela, com a descrição do algoritmo da nova cobertura maior, sua programação e o modelo resultante, respectivamente, conforme as Figuras 18, 19, 20, 21, 22 e 23.

DESCRIÇÃO DO ALGORITMO DA MODELAGEM PARAMÉTRICA DAS COBERTURAS LATERAIS

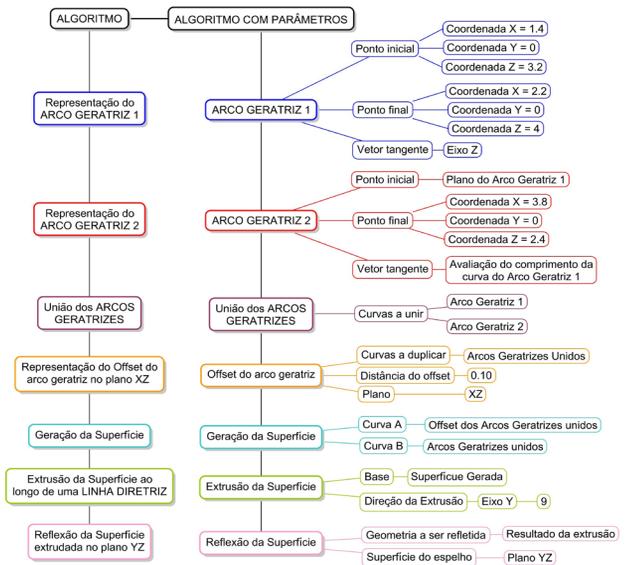


Figura 18: Descrição do algoritmo de modelagem paramétrica da nova cobertura maior – Parte 1.

Fonte: elaborado pelas autoras.

DESCRIÇÃO DO ALGORITMO DA MODELAGEM PARAMÉTRICA DA NOVA COBERTURA MAIOR - PARTE 3

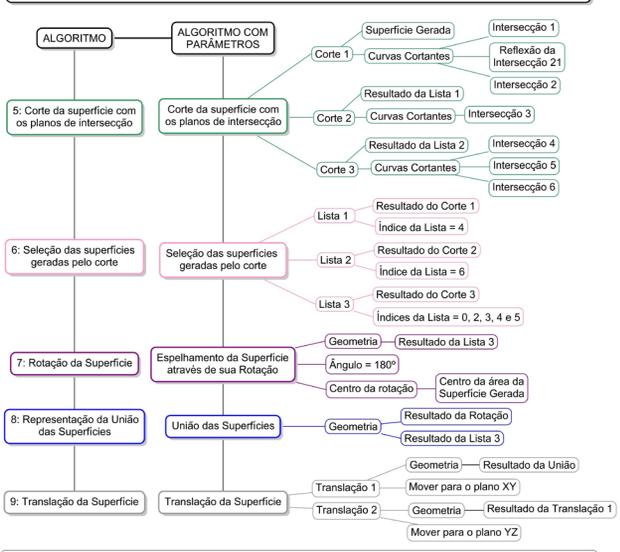


Figura 20: Descrição do algoritmo de modelagem paramétrica da nova cobertura maior – Parte 3.

Fonte: elaborado pelas autoras.

DESCRIÇÃO DO ALGORITMO DA MODELAGEM PARAMÉTRICA DA NOVA COBERTURA MAIOR - PARTE 2

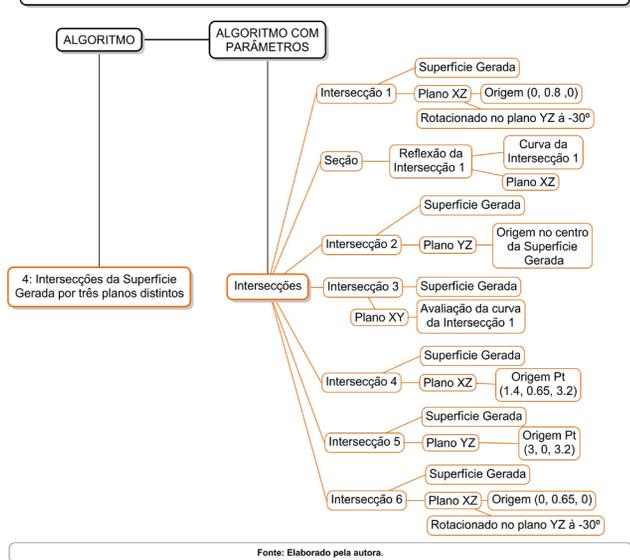


Figura 19: Descrição do algoritmo de modelagem paramétrica da nova cobertura maior – Parte 2.

Fonte: elaborado pelas autoras.

ESQUEMA GRÁFICO DA NOVA COBERTURA

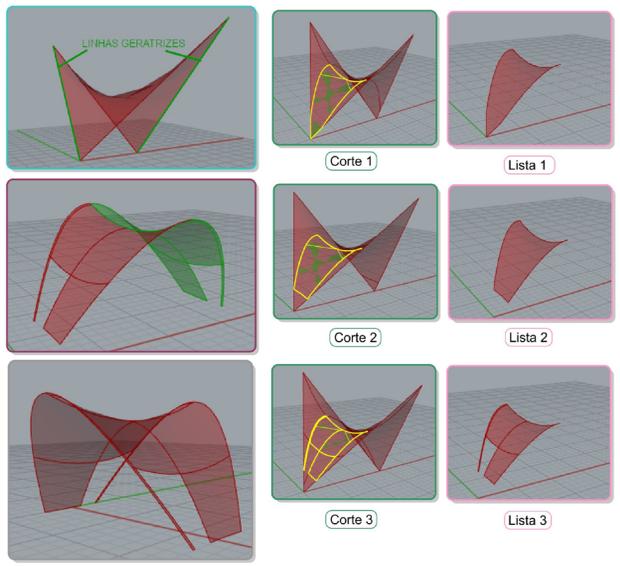


Figura 21: Esquema gráfico da nova cobertura.

Fonte: elaborado pelas autoras.

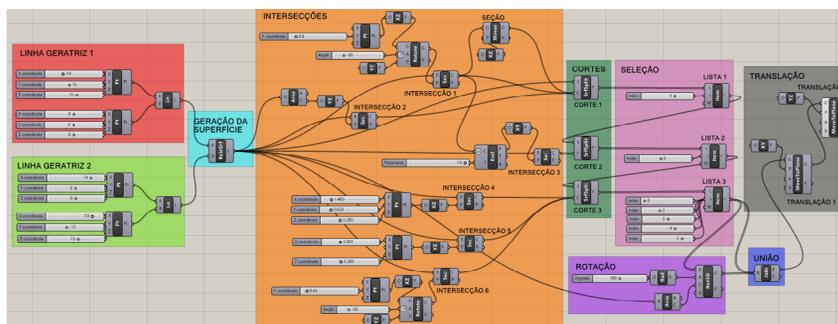


Figura 22: Programação da modelagem paramétrica da nova cobertura maior.

Fonte: elaborado pelas autoras.

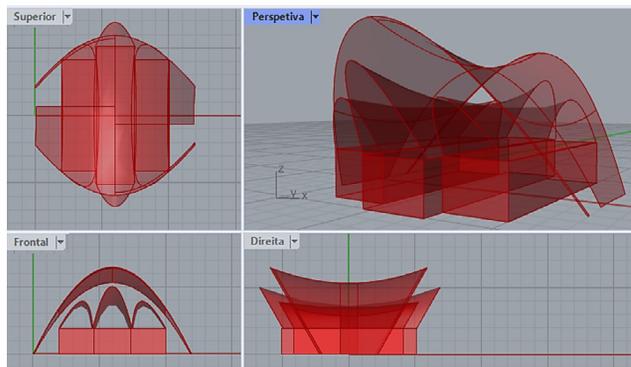


Figura 23: Modelo resultante da modelagem da atividade de projeto II com coberturas novas.

Fonte: elaborado pelas autoras.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve o intuito de estruturar uma rede de saberes que integra conceitos e técnicas de modelagem paramétrica de geometrias complexas da natureza, inspiradas nas potencialidades da Biomimética e nos conceitos de Tectônica e Estereotômica, a partir dos estudos de caso de arquitetura, como alternativas para soluções arquitetônicas. Nesse sentido, esses saberes se configuraram não apenas como um recurso ao método projetual, mas também como subsídios importantes à ação projetual e formativa, voltada a abordagens contemporâneas de design.

Desse modo, a rede de conceitos estruturada possibilita a promoção de processos formativos por meio de uma estrutura de saber a ser acessada para a proposição e aplicação de atividades didáticas em modelagem paramétrica no âmbito da arquitetura, a fim de promover momentos didáticos de investigação das geometrias complexas da arquitetura, como as da natureza. Sendo assim, a associação das estruturas de saber identificadas promovem uma compreensão da relação da geometria da natureza com o processo projetual e a sua representação auxiliando os acadêmicos de Arquitetura e Urbanismo a se atualizarem e apropriarem-se dos novos saberes, métodos e soluções que vem sendo produzidos e a obterem uma maior compreensão sobre o funcionamento estrutural de seus projetos.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, A. Bionic Basic: Verso un nuovo modello di ricerca progettuale. 175 p. Tese (doutorado) – Universidade Politécnico de Milão, Dottorato di Ricerca in Disgno Industriale e Comunicazione Multimediale, 2002.

ARRUDA, A; FREITAS, T. L. NOVAS ESTRATÉGIAS DA BIOMIMÉTICA: AS ANALOGIAS NO BIODESIGN E NA BIOARQUITETURA.. *Mix Sustentável*, Florianópolis, v.4, n.1, p.73-82, mar. 2018.

BAEZA, A. C. De la cueva a la cabaña. Sobre lo estereotómico y lo tectónico em arquitectura. In: BAEZA, A. C. *Sustancia y circunstancia: memoria del curso 2002-2003 de las asignaturas proyectos arquitectónicos 4 e 5*. Madrid: Mairea Libros, 2003.

BENYUS, J. M. *Biomimética: inovação inspirada pela natureza*. São Paulo: editora Cultrix, 2003.

CHEVALLARD, Y. El Análisis de las Prácticas Docentes en la Teoría Antropológica de Lo Didáctico. *Recherches en Didactique de Mathématiques*, Grenoble, Vol. 19, nº 2, pp. 221-266, 1999. (Traducción de Ricardo Barroso, Universidad de Sevilla). Disponível em: http://www.ing.unp.edu.ar/asignaturas/algebra/chavallard_tad.pdf

DETANIO, F. B.; et al. A Biomimética como Método Criativo para o Projeto de Produto. *Design & Tecnologia*, v. 2, p. 101-113, 2010.

FLORIO, W. MODELAGEM PARAMÉTRICA, CRIATIVIDADE E PROJETO: DUAS EXPERIÊNCIAS COM ESTUDANTES DE ARQUITETURA. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, v. 6, n. 2, p. 43-66, 2011.

KOLAREVIC, B.(Ed.). *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. New York: Spon Press, 2003.

LEGAULT, R. La trajectoire tectonique. In: CHUPIN, J., SIMONETTE, C.(org). *Le projet tectonique*. Gollion: Infólio éditions, 2005. LOBÄCH, B. *Design industrial: bases para a configuração de produtos industriais*. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

OLIVEIRA, J. A. Biomimética e processo da Fabricação Digital: aplicações na produção da Arquitetura. *SIGRADI* 2012.

OLIVEIRA, B. P.; PIRES, J. F. BIOMIMÉTICA E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA: ABORDAGEM INTEGRADA AO PROCESSO PROJETUAL EM ARQUITETURA. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, v. 10, p. 180-192, 2021.

PEREZ-GARCIA, A.; GÓMEZ-MARTÍNEZ, F. *Natural*

structures: strategies for geometric and morphological optimization. Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2009, Valencia Evolution and Trends in Design, Analysis and Construction of Shell and Spatial Structures 28 September – 2 October 2009, Universidad Politecnica de Valencia, Spain.

PIRES, J. d. F., PEREIRA, A. T. C. GONÇALVES, A. Taxonomias de geometria da arquitetura contemporânea: uma abordagem didática ao ensino da modelagem paramétrica na arquitetura. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, 2017, 12(3), 27-46.

POTTMANN, H. ASPER, A. HOFER, M. KILIAN, A. *Architectural Geometry*. Exton, Pennsylvania: Bentley Institute Press, 2007.

REBELLO, Y.C.P. *A Concepção Estrutural e a Arquitetura*. 1ª Edição. São Paulo: Zigurate Editora, 2000.

SANTOS, C. O DESENHO COMO PROCESSO DE APLICAÇÃO DA BIOMIMÉTICA NA ARQUITETURA E NO DESIGN. *Revista Tópos*. Presidente Prudente: UNESP, v. 4, n. 2, 2010, p. 144 – 192.

WOODBURY, R. *Elements of Parametric Design*. London: Routledge, 2010.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pelo apoio ao projeto AMPARA a partir da bolsa de iniciação científica, ano 2020-2021 e a FAPERGS pelo auxílio ao projeto via edital 10/21 ARD-ARC e bolsa para o período 2022- 23.

AUTORES

ORCID: 0000-0002-1975-3147

JANICE DE FREITAS PIRES, Doutora. | Universidade Federal de Pelotas | Arquitetura e Urbanismo | Pelotas, RS - Brasil | Correspondência para: Rua Barão de Santa Tecla, 213 apto. 504, Centro, Pelotas - RS, 96010-140 | e-mail: janicefpires@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4221-5953

BRUNNA PEREIRA DE OLIVEIRA, Graduanda. | Universidade Federal de Pelotas | Arquitetura e Urbanismo | Pelotas, RS - Brasil | Correspondência para: Av. Presidente Vargas,

559, casa 60 – Junção, Rio Grande - RS, 96202-188 | e-mail: brunnapo26@gmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

PIRES, Janice de Freitas; DE OLIVEIRA, Brunna Pereira; Biomimética, Geometria Complexa e Modelagem Paramétrica: Uma Estrutura de Saber para Arquitetura. **MIX Sustentável**, [S.l.], v. 8, n. 5, p. 63-73, nov. 2022. ISSN 24473073. Disponível em:<<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n5.63-73>.

SUBMETIDO EM: 04/10/2022

ACEITO EM: 14/10/2022

PUBLICADO EM: 30/11/2022

EDITORES RESPONSÁVEIS: Paulo César Machado Ferroli e Lisiane Ilha Librelotto.

Registro da contribuição de autoria:

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

JFP: Conceituação, análise formal, aquisição de financiamento, metodologia, administração de projetos, supervisão, visualização, escrita – rascunho original, escrita – revisão e edição.

BP: Conceituação, análise formal, investigação, metodologia, visualização, escrita – rascunho original, escrita – revisão e edição.

Declaração de conflito: nada foi declarado.