

ENSAIOS POTENCIAIS PARA AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DO BAMBU EM EDIFICAÇÕES: BUSCA SISTEMÁTICA

POTENTIAL TESTS FOR DURABILITY EVALUATION OF BAMBOO BUILDINGS: SYSTEMATIC SEARCH

ANDREA JARAMILLO, Dra. | UTE

HÉLIO FERENHOF, Dr. | UFSC

ÂNGELA DO VALLE, Dra. | UFSC

LISIANE LIBRELOTTO, Dra. | UFSC

RESUMO

O bambu é um material de construção de origem orgânica e possui baixa durabilidade natural. É importante avaliar elementos construtivos e edificações em uso que incorporem este material para conhecer o impacto real dos diferentes fatores bióticos e abióticos em sua durabilidade. Pesquisas dessa natureza são incipientes para o bambu, portanto é necessário conhecer técnicas usadas para a avaliação de outros materiais como as madeiras, com o objetivo de analisar a possibilidade de sua adaptação e ajuste para aplica-los nas construções com bambu. Como ponto de partida foi desenvolvido este estudo, cujo objetivo é revisar a literatura existente por meio de uma busca sistemática, para identificar os conceitos e metodologias que possuem possibilidades de aplicação, na avaliação da durabilidade do bambu em edificações em uso. Para o levantamento e análise dos dados foi usado o método Systematic Search Flow (SSF). Utilizou-se bases de dados interdisciplinares, resultando na identificação das diferentes áreas em que esse tema está sendo pesquisado, os autores mais citados, os ensaios não destrutivos mais usados e, como tema emergente, a crítica de vários desses autores ao método de previsão de vida útil apresentado na norma internacional ISO 15686.

PALAVRAS CHAVE: Bambu; Ensaios não destrutivos; Durabilidade; Busca sistemática

ABSTRACT

Bamboo is a building material from organic origin that has low natural durability. It is important to evaluate constructive elements and buildings in service that were built with it and know the real impact of biotic and abiotic factors on its durability. These kind of researches are incipient for bamboo; so it is necessary identify methods that are used for evaluating the durability of other materials such as timber. They could be analyzed, adapted and adjusted for bamboo constructions. As a starting point, this study was developed to review existing literature through a systematic search to identify the concepts and methodologies that could be applied in the evaluation of the durability of bamboo in buildings in service. A methodology used for the collection and analysis of data for the Systematic Research Flow (SSF). Interdisciplinary databases were used to identify the different areas in which the searches are performed, the most cited authors, the most frequently used non destructive tests and, as an emerging theme, the criticism of several of these authors to the prediction Method of life In ISO 15686.

KEY WORDS: Bamboo; Nondestructive methods; Durability; Systematic search



1. INTRODUÇÃO

O bambu é um dos materiais naturais que tem sido empregado na construção há milênios graças a sua abundância, rápido crescimento, fácil manuseio, versatilidade, resistência e flexibilidade. Seu uso e aplicação misturam saberes populares com técnicas contemporâneas, resultando em edificações que se adaptam às mais diversas necessidades. No entanto, sua baixa durabilidade natural preocupa os projetistas e usuários.



Figura 1 – Estrutura em bambu em processo de degradação
Fonte: Andrea Jaramillo.

Dentro do tema ambiental, a partir da segunda metade do século XX, a preocupação de arquitetos e construtores pela sustentabilidade, trouxe à tona alguns assuntos importantes como: a avaliação do ciclo de vida dos materiais, dos componentes construtivos e edifícios inteiros; a reciclagem; a busca por materiais naturais ou alternativos; a redução de consumo energético – e possibilidades de geração da própria energia nas edificações; entre outros. Tudo isto incrementou a demanda pelo conhecimento dos fatores de degradação, dos processos, vida útil e custos do ciclo de vida (SJÖSTRÖM, 1996).

A resistência do bambu à decomposição depende de vários fatores como a espécie, as condições climáticas, o modo de aplicação e uso, a idade dos colmos, os tratamentos, entre outros. Essa é uma característica que está fortemente associada com suas propriedades físico-químicas. Por este motivo, para atingir a efetividade no uso do bambu na construção é preciso conhecer esses parâmetros e o tema da durabilidade é essencial (KAUR et al, 2016).

Para realizar estudos de durabilidade de edificações e componentes construtivos existem três tipos de métodos: ensaios de envelhecimento natural, ensaios de envelhecimento acelerado e estudos de campo.

John e Sato (2007) indicam que os estudos de campo – ou envelhecimento em uso – implicam o monitoramento de materiais e componentes de edificações habitadas

e, dependendo da representatividade da amostra, oferecem resultados confiáveis porque todos os fatores de degradação atuam simultaneamente sob condições reais e por tanto, esse tipo de avaliação permite detectar problemas relacionados com o uso do edifício.

Para uma maior compreensão sobre a aplicação destes métodos e a possibilidade de adaptá-los para avaliar edificações de bambu, é necessário pesquisar referências de trabalhos científicos que aprofundem o tema.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é identificar em artigos científicos os conceitos e técnicas utilizadas – ou com possibilidades de aplicação – na avaliação da durabilidade do bambu em edificações em uso, por meio de uma busca sistemática de literatura.

2. METODOLOGIA

Este trabalho é uma revisão integrativa, realizada de forma sistemática. Para seu desenvolvimento foi usado o método *Systematic Search Flow* (SSF), proposto por Ferenhof e Fernandes (2016, p.556) como uma ferramenta para “sistematizar o processo de busca ou buscas à base de dados científicas a fim de garantir a repetibilidade e evitar viés do pesquisador”. Esse método possui quatro fases e oito atividades que estão resumidas na Tabela 1:

Fases	Atividades
Definição do protocolo de pesquisa	Elaboração da estratégia de busca
	Consulta em bases de dados
	Organização do portfólio bibliográfico
	Padronização e seleção de artigos
	Composição do portfólio de artigos
Análise	Consolidação dos dados
Síntese	Construção de ilações sobre o tema – organização de dados
Escrita	Consolidação dos dados por meio da escrita científica

Tabela 1 – Fases e atividades do método *Systematic Search Flow* (SSF)
Fonte: Elaborado pelos autores com base em Ferenhof e Fernandes (2016).

2.1. Descrição do protocolo de pesquisa

Dentro da estratégia de busca, foram definidas as bases de dados multidisciplinares *Scopus*, *Web of Science*, *SciELO (regional)*, *EBSCO* e *Compendex*. O único filtro definido foi: artigos e/ou artigos de revisão. Foram usados descritores em inglês considerando que a maioria dos resumos de trabalhos está nessa língua.

Para a primeira busca, realizada em 04/04/2017, os descritores aplicados foram (*evaluation OR assessment OR*

mensuration OR analysis OR appraisal) AND (durability OR duration OR longevity OR endurance OR "timeless quality") AND bamboo AND (service OR "in use") AND (structure/ OR building? OR construction?) e não se obteve nenhum resultado.

Depois de estudar e modificar os descritores em algumas ocasiões foi identificado que não se obtinha resultados nas buscas quando estava incluída a palavra *bamboo*. Então a estratégia foi substituir esse termo por *wood* ou *timber*, porque a madeira é o material mais próximo em propriedades ao bambu e os métodos usados para a avaliação da sua durabilidade poderiam ser adaptados.

Desse modo, para a consulta nas bases de dados, executada no dia 17/04/2017, o descritor usado foi (*evaluation OR assessment OR mensuration OR analysis OR appraisal) AND (durability OR duration OR longevity OR endurance OR "timeless quality") AND (wood OR timber) AND (service OR "in use") AND (structure? OR building? OR construction?)*. Como resultado dessa busca se obteve 187 artigos depois de remover os duplicados se obtiveram 134.

Para auxílio na organização do portfólio bibliográfico, foi utilizado um software para gestão de referências. Na seleção de artigos se aplicaram vários filtros: textos alinhados com o tema de busca, inclusão de palavras-chave em títulos e resumos. Resultando finalmente em 36 artigos. Entre eles, os que estavam disponíveis na íntegra foram 31.

Foi realizada a leitura do texto completo de cada um desses artigos para escolher os que conformariam o portfólio, depois disso, 13 artigos foram descartados porque o tema não estava alinhado com o assunto. Dessa maneira o portfólio final esteve composto por 18 artigos.

2.2. Análise

Os 18 artigos reunidos no portfólio foram publicados em 15 journals das áreas de: arquitetura, engenharia civil, engenharia agroflorestal, ciência e tecnologia da madeira, ecologia, engenharia ambiental, recursos naturais, engenharia mecânica, paisagismo, química aplicada e tecnologia dos materiais, a Tabela 2 mostra a lista desses jornais com o número de artigos em cada uma delas. Ao observar seus nomes é possível apreciar as diferentes áreas de conhecimento onde o tema é estudado e ter uma ideia da quantidade de enfoques com que o tema da durabilidade das madeiras é atualmente abordado.

Journal	Nº de artigos
International Journal of Life Cycle Assessment	2
Proceedings of Institution of Civil Engineers: Construction Materials	2

Wood Material Science & Engineering	2
CERNE	1
Biosystems Engineering	1
Building Research and Information	1
Canadian Journal of Civil Engineering	1
Canadian Journal of Forest Research	1
Engineering Structures	1
European Journal of Wood and Wood Products	1
Journal of Adhesion Science and Technology	1
Materials and Structures	1
Revista Árvore	1
Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture & Civil Engineering	1
Sustainability	1

Tabela 2 – Legenda
 Fonte: Autores.

Destacam-se três journals com dois artigos do portfólio cada um: *International Journal of Life Cycle Assessment*, *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Construction Materials* e *Wood Material Science & Engineering*.

Os autores mais citados nos artigos são Michael A. Lacasse, Christer Sjostrom, Christian Brischke, e Andreas O. Rapp. As normas mais referenciadas são ISO 15686 – *buildings and constructed assets service life planning* (partes 1, 2 e 8), EN 335 – *durability of wood and wood based products* e a NBR 7190 – projeto de estruturas de madeira.

Todos os artigos foram publicados depois do ano 2000, sendo a maioria deles posteriores a 2010 e com maior periodicidade a partir de 2012.

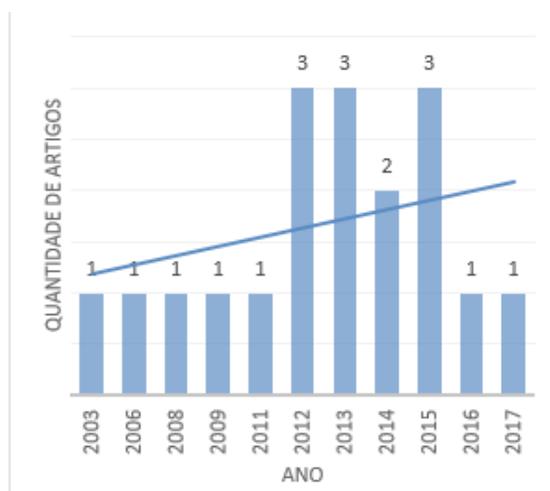


Figura 2 – Quantidade de artigos por ano e tendência
 Fonte: Autores.

2.3. Síntese

Os dados obtidos depois da leitura e análise dos artigos do portfólio foram inseridos em uma Matriz do Conhecimento, que é uma ferramenta desenvolvida por Ferenhof e Fernandes (2014) para facilitar a organização dos conteúdos durante o processo de análise sistemática.

Essa matriz incluiu os seguintes itens: título, autor, ano de publicação, palavras-chave, journal, tema principal, objetivo do trabalho, metodologia, conceitos principais, citações do texto, disciplinas, resultados y referências principais (alinhadas ao tema da pesquisa). A Figura 3 mostra o formato dessa matriz.

A síntese dos dados obtidos a partir desse exercício é apresentada na seguinte seção, onde se expõem os resultados deste estudo.

	Autor	Ano de publicação	Título	Palavras-chave	Journal	Tema principal	Objetivo do trabalho	Metodologia	Conceitos principais	Citações do texto	Disciplinas	Resultados	Referências principais
artigo 1													
artigo 2													
artigo 3													
artigo 4													
artigo 5													
artigo 6													
artigo 7													
artigo 8													

Figura 3 – Matriz do conhecimento com campos usados para a síntese dos dados
Fonte: Autores.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Durante a análise dos dados foram identificados vários termos e/ou conceitos comuns (relacionados entre si) que são usados na área da avaliação da durabilidade da madeira, isto possibilitou uma melhor compreensão do tema. Também se destacaram os dois tipos principais de avaliação usados para este fim que inclui alguns métodos em cada um deles, houve outro tema comum relacionado à aplicabilidade e limitantes da norma ISO 15686.

3.1. Conceitos

3.1.1. Durabilidade

Os autores dos artigos analisados se baseiam na norma ISO 15686-1 (2000), que define durabilidade como a capacidade de uma edificação ou suas partes para

desempenhar suas funções em um período de tempo específico, sob a influência dos agentes antecipados, a mesma definição é encontrada na NBR 15575-1 (2013).

A ação dos agentes pode causar danos cumulativos na edificação – ou componente – e a sua resistência, também deterioração visual e incumprimento dos requisitos dos estados limite de manutenção, afetando sua durabilidade. Esse processo na maioria das vezes acontece gradualmente e pode ser imperceptível durante algum tempo (MIRZA, 2006).

No caso da madeira – e o bambu –, por ser um material orgânico possui características anatômicas específicas que devem considerar-se para prolongar sua durabilidade quando aplicada na construção. Vanerek et al (2014, p. 1405) indicam que é possível aumentar sua durabilidade “por meio de uma boa escolha da espécie, dos detalhes estruturais, eliminando os efeitos dos fatores externos e com manutenção regular”.

3.1.2. Degradação

A norma ISO 15686-2 (2012) define a degradação como “o processo em que uma ação em um item causa uma deterioração de uma ou mais propriedades”.

As consequências da degradação da madeira podem variar de efeitos estéticos, tais como descoloração, deformações menores e outras falhas com influência mínimas no desempenho, a graves problemas de deflexão e distorção excessiva de um elemento construtivo ou colapso parcial ou total do componente ou estrutura (MIRZA, 2006).

Essa afirmação se complementa com o estudo de Sandberg (2008), onde é explicado que a degradação da madeira, exposta ao ar livre, é ocasionada por uma combinação complexa de agentes bióticos, químicos e físicos, que agem sós ou em combinação.

Sandberg (2008, p.83) também identifica e define duas categorias de degradação: intemperismo (ou desagregação) e degradação:

O intemperismo é uma degradação superficial que tem pouco efeito sobre as propriedades de resistência e é causada principalmente por danos fotoquímicos, oxidação de produtos de degradação, lixiviação de produtos de decomposição solúveis, hidrólise, danos mecânicos por encolhimento e inchaço e descoloração por fungos azuis. Na degradação, ou destruição biológica, micro-organismos participam, toda a espessura da madeira pode ser afetada e a resistência pode ser reduzida consideravelmente. O intemperismo é um processo lento comparado com a degradação, que pode destruir a madeira em apenas

alguns anos se as condições forem favoráveis aos fungos. Considerando que os fungos necessitam de água livre disponível nas células de madeira.

3.1.3. Agentes de degradação

Os agentes bióticos e abióticos, cuja ação influi na durabilidade e afeta a vida útil da madeira – e todos os materiais-

aplicada em componentes construtivos ou edificações. Mirza (2006) apresenta no seu estudo um resumo dos mecanismos de degradação das madeiras na construção e sua localização frequente, os fatores que ocasionam sua ação e quais são suas consequências nas peças de madeira – localização na edificação.

Fenômeno	Localização frequente	Causa principal	Causa secundaria
Deterioração por causa do clima (intemperismo)	Superfície do componente ou regiões próximas	Intemperismo. Erosão por vento, areia, neve, chuva.	Superfícies sem pintura.
Rachaduras de separação	Superfícies de contato entre os anéis de crescimento	Deterioração da lignina e alguns extrativos pela radiação ultravioleta e a luz	Diferenças entre as precipitações de primavera e verão
Degradação térmica	Revestimento, membros de madeira e fixadores.	Altas temperaturas: retardadores do fogo	Conteúdo de umidade
Degradação química	Fixadores, membros de madeira, uniões entre a madeira e as fundações.	Umidade, sais, outros químicos.	Entorno agressivo, temperatura.
Mudanças dimensionais	Telhados, revestimento exterior.	Exposição às precipitações: mudanças na umidade relativa.	Ciclos de molhagem e secagem
Degradação por fungos	Coberturas, revestimento de paredes, esquadrias, placas de peitoril.	Umidade, temperatura, oxigênio, fonte de alimento (madeira)	Ciclos de molhagem e secagem, execução fraca (mão de obra)
Insetos xilófagos	Nível térreo, nos pisos e componentes de paredes.	Umidade, degradação, madeira.	Localização e microclima.

Tabela 2 – Aplicabilidade dos ensaios para o bambu
Fonte: Mirza, 2006, p.656. Tradução realizada pelos autores.

3.1.4. Manutenção

A NBR 15575-1 (2013) define manutenção como o “conjunto de atividades a serem realizadas ao longo da vida total da edificação para conservar ou recuperar sua capacidade funcional e de seus sistemas”. Carlisle e Friedlander (2016) indicam que as manutenções são projetos específicos, que consideram as características únicas de cada caso: tipo de edificação, localização, orçamento, uso, entre outros.

Dentro da manutenção das edificações estão consideradas as inspeções de limpeza, conservação e proteção. Estas servem para identificar defeitos em todos os componentes, isto permitirá eliminar possíveis fontes de dano e degradação. No caso da madeira, é importante a prevenção de umidades na edificação, para prevenir a degradação causada por agentes atmosféricos e biológicos. (MENDES DA SILVA; NOBRE; VICENTE, 2011)

3.1.5. Densidade (da madeira)

A NBR 7190 (1997) define a densidade da madeira como a massa específica convencional obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado.

Abruzzi et al (2012) indicam que a densidade está relacionada a muitas propriedades e características tecnológicas que devem ser consideradas na produção, beneficiamento e utilização da madeira. É uma propriedade física da madeira importante porque afeta grande parte de suas demais propriedades, por exemplo, a densidade da madeira é inversamente proporcional ao seu teor de umidade, ou seja, as madeiras mais densas possuem uma menor quantidade de água em seu interior.

3.1.6. *Preservação da madeira – tratamentos e modificação química*

Ormondroyd, Spear e Curling (2015) resumem que existem duas formas principais de melhorar as propriedades da madeira para fazê-la mais resistente à degradação: os tratamentos químicos de impregnação e a modificação química da estrutura da madeira. Os primeiros não modificam a estrutura das madeiras, entre os de maior efetividade estão o CCA (cobre, cromo e arsênio) e os creosotos. Mas por causa da sua alta toxicidade apresentam riscos à saúde humana e seu uso é restrito e até proibido em alguns lugares.

Modificar quimicamente a madeira é alterar de forma permanente as propriedades das paredes celulares. Isto pode protegê-la com eficácia igual à dos preservativos. Para isto são usados produtos (catalizadores, solventes orgânicos em água, químicos reativos e não reativos e altas temperaturas) que reagem com os polímeros das paredes celulares ou condensar em microestruturas. O resultado é uma maior durabilidade. Isto faz deste procedimento uma alternativa aos preservativos químicos da madeira. (XIE et al., 2013)

3.1.7. *Vida útil*

A vida útil é o período de tempo, depois da sua instalação, em que o edifício ou seus componentes satisfazem os requisitos de desempenho, considerando as atividades de manutenção. (NBR 15575-1, 2013; ISO 15686-1, 2000). Aktas e Bilec (2012) indicam que é uma medida usada para auxiliar a toma de decisões econômicas sobre investimentos do projeto ou manutenções.

O método fatorial, indicado pela norma ISO 15686, é uma ferramenta usada para determinar a vida útil de componentes construtivos e edificações. No entanto, Aktas e Bilec (2012) fazem uma crítica ao método indicando que esse procedimento só considera os fatores relacionados com a durabilidade e desconsidera os fatores sociais. Adicionalmente afirmam, citando a Hovde e Moser (2004), que a vida útil dos produtos da construção é raramente determinada por sua durabilidade.

3.1.8. *Técnicas de inspeção não destrutivas*

São ensaios rápidos e eficazes usados para detectar, localizar e quantificar deteriorações em madeira em condições de uso e podem auxiliar o prognóstico do estado das peças, permitindo realizar as intervenções de manutenção ou reabilitação mais adequadas.

Abreu et al (2013) indicam que esse tipo de ensaios geralmente não danificam a capacidade estrutural da madeira. Também tem rapidez de execução e baixo custo. Indica que a inspeção visual é o mais simples para verificar

indicadores de degradação externos, mas que existem outros ensaios que são utilizados para a avaliação interna das peças como a perfuração controlada e as ondas de tensão.

3.2. **Ensaio não destrutivo**

Foram identificados dois tipos principais de ensaios usados para avaliar a durabilidade – e a degradação – das madeiras nas edificações em uso: os não destrutivos e os destrutivos, cada um deles possui vantagens e limitações.

Este trabalho está focado nos ensaios não destrutivos, onde não há necessidade de extrair corpos de prova das edificações nem comprometer as peças dos elementos construtivos.

Ross et al (1998) define este tipo de ensaios como aqueles que permitem identificar propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado material sem alterar suas capacidades de aplicação final.

Antes de aplicar esse ensaio na avaliação das edificações é importante realizar uma pesquisa aprofundada para cada caso estudado que inclui dados históricos, análise do contexto, levantamento inicial de dados, entre outros.

3.2.1. *Inspeção visual*

A inspeção visual é a técnica mais simples para verificação de sinais externos – rachaduras, descolorações, entre outros – nas peças que sejam indicadores de defeitos e ataques (ABREU et al, 2013; LIANG et al 2013).



Figura 4 – Inspeção visual de estrutura de bambu
Fonte: Autores.

Um exemplo desse tipo de procedimentos foi desenvolvido por Vidor (2011), com o objetivo de dar seguimento ao processo de deterioração de postes de madeira em serviço para facilitar o cálculo da sua vida útil. Os passos desse ensaio são: escavação do solo ao redor do poste para verificar seu estado nessa região, realização de uma raspagem da superfície para determinar o volume da madeira deteriorada, perfuração para a inspeção interna, medição do volume de madeira interna em bom estado. Depois, para medir a deterioração, esse autor propõe critérios de decaimento por meio de uma escala com cores e números de 1 a 4:

1. Verde: postes em bom estado
2. Amarelo: decaimento parcial (o poste precisa tratamento)
3. Laranja: poste com decaimento avançado (precisa intervenção estrutural)
4. Vermelho: poste com alta degradação (precisa ser substituído)

Também, Mariño et al (2009) apresenta uma técnica de inspeção visual de elementos de madeira, usado para procurar signos externos que indiquem degradação por fungos, brocas, coloração ou descoloração. Para isto usou duas variáveis: intensidade (severidade do ataque) e extensão (distribuição). Dentro da intensidade propôs dois grupos: um de fungos/ insetos e outro de descoloração, ambos avaliados em uma escala de 0-4 dependendo da profundidade ou dimensão da degradação em relação com a área do elemento estrutural. Para medir a extensão usou uma escala de 1-5 relacionando a presença da degradação com o número de elementos estruturais da edificação que estão afetados. Esse autor estabeleceu uma relação entre a degradação e as características do sistema estrutural e relacionou a fonte da degradação com seus efeitos.

3.2.2. Perfuração controlada

Esta técnica serve para confirmar áreas suspeitas de deterioração que já foram identificadas por inspeções visuais ou transmissões de onda de tensão. Ajuda a definir com maior precisão a extensão da deterioração (ABREU et al, 2013).

Nesse procedimento se realizam perfurações (pequenas se comparadas com os elementos construtivos) com resistógrafos, que são equipamentos que registram a resistência das peças de madeira à perfuração e a relacionam com a profundidade perfurada. Está baseada no princípio que uma peça não comprometida terá maior resistência à perfuração do que uma que apresenta danos ocasionados por agentes de degradação como a presença de cupins (TELES, 2002).

3.2.3. Propagação de ondas

Esse tipo de avaliações são desenvolvidas por meio da propagação de ondas de som, ultra-som ou choque, Abreu et al (2013) indicam que servem para identificar e avaliar deteriorações internas.

A Figura 5 mostra a aplicação desse ensaio numa peça de madeira de pinus, como parte de um estudo de caracterização mecânica desenvolvido por Sotomayor e Ramírez (2015).



Figura 5 – Ensaio de propagação de ondas aplicado em viga de madeira
Fonte: Sotomayor e Ramírez, 2015.

Um exemplo da sua aplicação se encontrou no artigo de Liang et al (2013) sobre avaliação não destrutiva de edificações históricas em terra, onde foram desenvolvidos testes ultrassônicos e martelos de rebote que permitiram obter uma forma quantitativa de avaliação, também usaram avaliações com termografias infravermelhas para complementar o estudo.

Teles (2002) explica que esses ensaios estão baseados na seguinte premissa: uma madeira degradada – que apresenta vazios- é menos rígida que uma madeira sã e, por tanto, uma onda vai demorar mais tempo para conseguir atravessá-la. Então, uma baixa velocidade da transmissão das ondas é indicativo de defeitos nas peças.

3.2.4. Termografia

Liang et al (2013) usou na sua pesquisa esse método para detectar o estado entre a terra e a armadura das paredes das edificações históricas que analisou. Teles (2002) indica que por meio das termografias é possível visualizar a diferença de temperatura existente nas partes da madeira que têm degradação – vazios - com as da madeira sã.

Gupta et al (2015) indica que esse tipo de ensaio tem sido empregado com sucesso na caracterização de estruturas poliméricas e para avaliar a degradação e durabilidade da madeira em edificações em uso e também para corpos de prova usados em ensaios de envelhecimento natural.

3.3. Críticas ao método de previsão da vida útil da norma ISSO 15686

Na maioria dos trabalhos analisados foi mencionada a norma internacional ISO 15686 – Building and constructed assets – Service life planning, porque é a que oferece o marco base desse tipo de pesquisas, aborda os problemas da previsão da vida útil e contém uma metodologia para prever a vida útil e estimar o tempo necessário para as manutenções.

O método proposto nessa norma está baseado no estudo dos agentes de degradação dos materiais e os transforma em fórmulas que resumem sua ação ao longo do tempo. Mas durante sua aplicação, vários pesquisadores têm apontado algumas limitações:

Para estimar a vida útil usando o método do fator, a vida útil de referência do produto é multiplicada por coeficientes que são assignados aos fatores. Os coeficientes podem ser modificados dependendo de aplicações específicas e, deste modo, deixa em aberto para o projetista escolher os coeficientes adequados para cada fator que afeta a vida útil, e isto não permite obter resultados confiáveis (AKTAS; BILEK, 2012).

Marteinson (2003, p. 417) menciona que a informação que a norma oferece sobre os fatores é insuficiente acrescentando que:

O efeito das alterações em um único fator é difícil de prever e existe um risco considerável de que a sinergia entre os fatores afete os resultados desfavoravelmente.

Também menciona que os resultados dos cálculos podem variar dependendo dos valores adotados, embora os projetistas tenham usado a mesma metodologia.

3.4. Análise da aplicabilidade dos ensaios não destrutivos para o bambu

Para finalizar, foram analisadas as vantagens e limitações que cada ensaio teria para sua aplicação na análise de colmos de bambu em edificações em serviço. Tabela 4.

Ensaio	Vantagens	Limitações
Inspeção visual	É uma técnica relativamente fácil de se aplicar desde que o pesquisador esteja familiarizado com as manifestações patológicas do material.	Precisa de ser complementado por outros ensaios para maior precisão.

Perfuração controlada	Permite definir a extensão da deterioração.	Precisa do equipamento específico: resistógrafo. Deixa um furo no bambu que precisa ser preenchido.
Propagação de ondas	Serve para identificar deteriorações internas nas peças. Poderia ser usado para avaliar ou caracterizar tiras de bambu ou laminados.	Precisa de equipamento específico e também deve ser complementado com outros ensaios para maior precisão. A pouca espessura da parede do colmo (comparada com a madeira) e sua variação de densidade dificultariam o levantamento dos dados.
Termografia	Não ocasiona danos nas peças analisadas – é só uma técnica de contato. Permite detectar o estado interno dos elementos estudados. É uma opção para a avaliação de colmos de bambu em estruturas.	Precisa do equipamento específico e uma fonte de calor.

Tabela 4 – Aplicabilidade dos ensaios para o bambu
 Fonte: Autores.

Considerando a menor intervenção nas peças de bambu em edificações e as propriedades dos colmos, entre as quatro técnicas analisadas as mais viáveis de aplicação se destacaram a inspeção visual que poderia ser complementada com a termografia para analisar o estado dos colmos de bambu em edificações.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As buscas sistemáticas realizadas nas bases de dados permitiram encontrar conceitos e ensaios mais usados. É importante mencionar que os descritores usados nas buscas influenciam diretamente na quantidade e tipo de resultados.

Nas primeiras buscas em bases de dados não se encontraram artigos específicos para o tema do bambu, isto sugere ineditismo no tema, mas dificulta o processo de construção do marco teórico e metodologia da pesquisa.

Ao desenvolver a busca com foco na madeira, a maioria dos conceitos encontrados nos artigos são genéricos e

tratam o tema da durabilidade dos materiais na construção, mas aqueles que estão focados na madeira permitiram entender o foco de abordagem que poderia dar-se para as conceptualizações no caso do bambu.

Os ensaios não destrutivos usados para avaliar a durabilidade da madeira em construções em uso estão sendo aperfeiçoados há mais de 15 anos e medem o estado das peças de madeira com base principalmente na sua densidade. Para poder adaptá-los ao bambu é necessário considerar as propriedades físicas dos colmos que na maioria das espécies são ocos, a espessura das paredes e a diminuição de densidade que existe em direção transversal do córtex ao interior e longitudinal do topo à base.

Na busca sistemática foram identificados quatro tipos de ensaio, cujas vantagens e limitações relacionadas com sua aplicabilidade para o bambu foram analisadas. Como resultado, as técnicas que se consideraram mais adequadas para utilizar com o bambu foram a inspeção visual e a termografia por suas características de menor impacto no material.

Para continuar com a pesquisa se recomenda procurar por mais ensaios não destrutivos e aprofundar a busca na aplicação de cada um deles, isto permitirá uma maior compreensão dos instrumentos necessários e formas de aplicação; o que facilitaria – em alguns casos - o processo de adaptação para o bambu.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível Superior – CAPES (Brasil) e à Secretaria de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación – SENESCYT (Equador) pelas bolsas de estudo que permitiram a realização de esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABREU, L. B. D. et al. Avaliação não destrutiva de estruturas de madeiras em edifício histórico de Tiradentes, MG. CERNE, v. 19, n. 3, p. 481-487, 2013-09 2013.

ABRUZZI, R. C. et al. Relação das propriedades mecânicas e densidade de postes de madeira de eucalipto com seu estado de deterioração. Revista Árvore, v. 36, n. 6, p. 1173-1182, 2012-12 2012.

AKTAS, C. B.; BILEC, M. M. Service life prediction of residential interior finishes for life cycle assessment. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 17, n. 3, p. 362-371, Mar 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190:1997, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

CARLISLE, S.; FRIEDLANDER, E. The influence of durability and recycling on life cycle impacts of window frame assemblies. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 21, n. 11, p. 1645-1657, 2016.

FERENHOF, Helio Aisenberg; FERNANDES, Roberto Fabiano. Desmitificando a revisão de literatura como base para redação científica: Método SSF. In: Painele biblioteconomia em Santa Catarina, 34., 2016, Florianópolis. Revista ACB: Biblioteconomia em Santa Catarina. Florianópolis: Associação Catarinense de Bibliotecários, 2016. v. 21, p. 550 - 563. Disponível em: <<https://revista.acbsc.org.br/racb/article/view/1194/pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

FERENHOF, H. A; FERNANDES, R.F, Passos para construção da Revisão Sistemática e Bibliometria. V. 3.02 Disponível em: <http://www.igci.com.br/artigos/passos_rsb.pdf>. Acesso em: 11/07/2016. DOI: 10.13140/RG.2.1.1937.2401/1, Abril 2014.

GUPTA, B. S.; JELLE, B. P.; GAO, T. Wood facade materials ageing analysis by FTIR spectroscopy. Proceedings of Institution of Civil Engineers: Construction Materials, v. 168, n. 5, p. 219-231, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 15686 -1: Buildings and constructed assets - Service life planning. Part 1: General principles and framework. 2 ed. Genebra, 2011. 21 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 15686 -8: Buildings and constructed assets - Service life planning. Part 8: Reference service life and service life estimation. 1 ed. Genebra, 2008. 36 p.

JOHN, Vanderley; SATO, Neide Matiko Nakata. Durabilidade de componentes da construção. In: SATTLER, Miguel Aloysio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay (Ed.). Coletânea Habitare: Construção e meio ambiente. Porto Alegre: Antac, 2006. Cap. 2. p. 20-57. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/ArquivosConteudo/ct_7_comp.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2017.

KAUR, P. J. et al. Characterization of commercially important Asian bamboo species. European Journal of Wood and Wood Products, v. 74, n. 1, p. 137-139, 2016. ISSN 1436-736X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00107-015-0977-y>>. Acesso em: 07 mar. 2017.

LIANG, R. F. et al. Nondestructive Evaluation of Historic Hakka Rammed Earth Structures. Sustainability, v. 5, n. 1, p. 298-315, Jan 2013.

MARIÑO, R. A. et al. Durability of timber structures

in agricultural and livestock buildings. *Biosystems Engineering*, v. 104, n. 1, p. 152-160, 2009.

MARTEINSSON, B. Durability and the factor method of ISO 15686-1. *Building Research and Information*, v. 31, n. 6, p. 416-426, 2003.

MENDES DA SILVA, J. A. R.; NOBRE, M.; VICENTE, R. Retrofitting strategy tool for timber floor structures. *International Journal for Housing Science and Its Applications*, v. 35, n. 2, p. 81-90, 2011.

MIRZA, M. S. Durability design of infrastructure and some related issues. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 33, n. 6, p. 650-672, 2006.

ORMONDROYD, G.; SPEAR, M.; CURLING, S. Modified wood: Review of efficacy and service life testing. *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Construction Materials*, v. 168, n. 4, p. 187-203, 2015.

ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; PELLERIN, R.F. Nondestructive evaluation of wood. *Forest products journal*. V.48, n.1, p. 14-19, 1998.

SANDBERG, K. Degradation of Norway spruce (*Picea abies*) heartwood and sapwood during 5.5 years' above-ground exposure. *Wood Material Science & Engineering*, v. 3, n. 3/4, p. 83-93, 2008.

SJÖSTRÖM, Ch. Durability and sustainable use of building materials. *Sustainable use of materials*. BRE | RILEM, 23-14 Sept. 1996

TELES, Carlos Dion de Melo. Estruturas de madeira: proposta de metodologia de inspeção e correlação da velocidade ultrassônica com o dano por cupins. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 2002. 132p.; 30cm*

VANEREC, J. et al. Evaluation of FRP/wood adhesively bonded epoxy joints on environmental exposures. *Journal of Adhesion Science and Technology*, v. 28, n. 14-15, p. 1405-1417, 2014.

VIDOR, Flávio L. R. Avaliação da Vida Útil de Postes de Madeira de Eucalipto em Serviço em Redes de Distribuição de Energia Elétrica, Porto Alegre. 2009. Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Tecnologia de Materiais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande Do Sul. <<http://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/3270/1/000431796-Texto%2bCompleto-0.pdf>>

XIE, Y. et al. Effects of chemical modification on the mechanical properties of wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 71, n. 4, p. 401-416, 2013.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2181-8042>

ANDREA SALOMÉ JARAMILLO BENAVIDES, Dra. | Universidad UTE | Facultad de Arquitectura e Urbanismo | Quito, Ecuador | Correspondência para: Facultad de Arquitectura e Urbanismo – UTE, campus matriz, calle Rumipamba S/N, Quito, Ecuador) | E-mail: andrea.jaramillo@ute.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5167-0838>

HÉLIO AISENBERG FERENHOF, Dr. | Universidade Federal de Santa Catarina | Programa de Pós-Graduação em Tecnologias de Informação e Comunicação | Florianópolis, SC - Brasil | Correspondência para: UFSC – Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde, R. Pedro João Pereira, 150 – Araranguá –SC, 88905-120 | E-mail: helio@igci.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4132-7822>

ÂNGELA DOVALLE, Dra. | Universidade Federal de Santa Catarina | Departamento de Engenharia Civil | Florianópolis, SC - Brasil | Correspondência para: Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis - SC, CEP 88040-970 | E-mail: angela.valle@ufsc.br

ORCID: 0000-0002-3250-7813

LISIANE ILHA LIBRELOTTO, Dra. | UFSC | Arquitetura e Urbanismo | Florianópolis, SC - Brasil | Correspondência para: Campus UFSC - Trindade, PósARQ / CTC, Caixa Postal 476, Florianópolis – SC, 88040-900 | E-mail: lisiane.librelotto@gmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

BENAVIDES, Andrea Salomé Jaramillo; FERENHOF, Hélio Aisenberg; VALLE, Ângela do; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha. Ensaio Potenciais para Avaliação da Durabilidade do Bambu em Edificações: Busca Sistemática. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 3, p. 55-64, jul. 2019.** 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.MIX2019.v5.n3.55-64>.

DATA DE ENVIO: 14/01/2019

DATA DE ACEITE: 24/06/2019