



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS – IFMG

Campus Ouro Preto

Coordenadoria da Área de Restauro

O TEMPO, O HOMEM, A BIODETERIORAÇÃO

**A madeira e os processos de restauração em edificações
vernaculares**

Nome: Tainá de Keller e Costa

Turma: N6RES1-20012

Disciplina: TCC - II

Professor: Ricardo Ali Abdalla

Orientadora: Prof. Dra. Januária Fonseca Matos

OURO PRETO
MINAS GERAIS – BRASIL
ABRIL - 2013

TAINÁ DE KELLER E COSTA

O TEMPO, O HOMEM, A BIODETERIORAÇÃO

A madeira e os processos de restauração em edificações vernaculares

Monografia apresentada ao Curso tecnólogo de Conservação e Restauração no Instituto Federal de Minas Gerais - Ouro Preto, como requisito à obtenção do título de Tecnólogo em Conservação e Restauro.

Ouro Preto - MG

2013

TAINÁ DE KELLER E COSTA

O TEMPO, O HOMEM, A BIODETERIORAÇÃO

**A madeira e os processos de restauração em edificações
vernaculares**

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Orientadora Dr.^a Januária Fonseca Matos

Prof. M. Sc. Rodrigo Meniconi

Prof. Dr. Júlio Fontenelle

Ouro Preto, 24 de Abril de 2013

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível devido ao suporte e compreensão recebido pelos familiares, amigos e professores.

Agradeço à minha orientadora Januária que me deu todo suporte e me auxiliou com dedicação e carinho na elaboração deste trabalho e também a todos os professores que foram muitos dedicados e me deram muito apoio. Ricardo, Meniconi, Januária, Paola, Cristina, Alexandre, Alex, Ney, Luciana e a todos os outros. Vocês estarão sempre em minhas lembranças como amigos e exemplos a serem seguidos.

Agradeço a meu pai, minha mãe, minhas irmãs lindas Raíssa, Clarissa e Clara e minha sobrinha fantástica Lígia, à Monique e Rafael pela amizade, carinho, apoio. Obrigada por terem tido paciência e compreensão nestes anos em que não fui tão presente em suas vidas.

À minha avó Sílvia que é um grande exemplo em minha vida e que sempre acreditou em mim e me apoiou nos momentos mais difíceis!

Agradeço ao Jeronimo que fez meus dias mais felizes, por ser um grande parceiro e estar sempre ao meu lado me apoiando, incentivando, ajudando em todos os momentos, pelo companheirismo, carinho e paciência.

Às minhas tias queridas, pela compreensão e carinho!

Aos queridos amigos Manu, Marice, Pati, Therezinha, Lucimar, Hudson, Thiago, Filipe. Vocês foram sempre tão legais comigo! Amizades pra sempre. Obrigada pela compreensão!

Às minhas chefinhas Meire e Beth pelos dias engraçados, pelas trocas de experiências e pelo companheirismo e amizade!

Ao IFMG pela possibilidade de estudo, de formação profissional e pessoal;

Ao CNPQ pelo subsídio para os estudos;

Ao Ganesh pela força de continuar as batalhas e vencer os obstáculos da vida.

RESUMO

COSTA, Tainá de Keller e. *O TEMPO, O HOMEM, A BIODETERIORAÇÃO: A madeira e os processos de restauração em edificações vernaculares*. Monografia (Tecnólogo em Conservação e Restauro) – Instituto Federal de Minas Gerais, campus Ouro Preto, 2013.

O estudo da Biologia aplicada à conservação e restauração é pouco comum e relativamente recente, apesar de possuir singular importância. Sabe-se que os deterioradores da madeira são agentes químicos, físicos e biológicos que, com o tempo vão agindo na sua estrutura fragilizando-a e levando-a a ruína. Os biodeterioradores são agentes biológicos que provocam e/ou aceleram a perda do material da madeira. Podem ser citados como biodeterioradores os fungos (podridão, manchadores, emboloradores, dentre outros), líquens, bactérias (cianobactérias, bactérias heterotróficas, dentre outras) e os insetos xilófagos (cupins, brocas, traças, baratas, etc). Neste estudo, foi descrito como ocorre o processo de biodeterioração em madeiras que se encontram na parte estrutural de uma edificação (forro, tesoura do telhado, estrutura do pau-a-pique, etc) que abrange desde o conhecimento da composição da madeira, dos principais biodeteriogenos e dos fatores que tornam a madeira mais vulnerável. Assim, uma revisão sobre estudos realizados no Brasil sobre a biodeterioração da madeira em edificações históricas foi realizada. Finalmente, este estudo abordou os principais métodos de tratamento realizados para a preservação de madeiras utilizadas em edificações, sua eficácia e suas limitações.

Palavras-chave: Conservação, Restauração, madeira, biodeterioração.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IFMG-OP	Instituto Federal Minas Gerais - Campus Ouro Preto
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
WoS	Web of Science

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1: Desenho esquemático da anatomia do tronco de uma folhosa.....	18
Figura 2: Relação madeira x degradação não biológica.	20
Figura 3: Características de madeira atacada por “fungos manchadores” - penetração pelo topo.....	24
Figura 4: Topo de tora verde de <i>Pinus spp</i> estocada ar livre com a presença de bolor.	25
Figura 5: Tipos de 'castas' de cupins.	27

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO.....	5
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	6
LISTA DE FIGURAS E TABELAS	7
INTRODUÇÃO	10
1. JUSTIFICATIVA	11
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral.....	12
2.2 Objetivos Específicos.....	12
3. METODOLOGIA	13
3.1 Etapas.....	14
4. REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1 Botânica.....	15
4.2 Anatomia da madeira.....	16
4.3 Composição química da madeira	18
5. DEGRADAÇÃO DA MADEIRA	20
5.1 Fatores não biológicos.....	20
5.2 Fatores biológicos.....	21
5.2.1 Bactérias	21
5.2.2 Fungos	22
5.2.3 Fungos	25
6. DEGRADAÇÃO DA MADEIRA	29
6.1 Aspectos gerais da preservação da madeira.....	30
6.2 Preservantes da madeira.....	31
6.3 Métodos de aplicação.....	33

6.4 Prevenção e tratamento da madeira atacada por cupim	34
7. DEGRADAÇÃO DA MADEIRA	36
8. CONCLUSÃO	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

INTRODUÇÃO

A atividade de Conservação e Restauração é pensada, planejada, desenvolvida e implantada para atender à necessidade de preservar a matéria e a memória daquelas obras que possuem importância histórica, artística e cultural.

No entanto, conservadores e restauradores travam constante luta contra o tempo a fim de atingir a meta de manter os bens culturais o mais preservado possível. Para isso medidas de preservação devem ser tomadas.

Segundo Brito os objetivos das medidas de “intervenção indireta em uma obra consistem em aumentar sua vida útil, diminuir a velocidade de envelhecimento, diminuir riscos, manter características originais e manter condições físicas e funcionais” (BRITO, 1995). Para que estas medidas sejam eficazes, a autora cita que isso dependerá do conhecimento das características da obra desde sua criação até a intervenção. Do seu entorno, das causas que produzem sua patologia e dos materiais e meios técnicos idôneos que evitam sua alteração.

Em se tratando de edificações históricas, estas, inevitavelmente, estarão sujeitas à passagem do tempo e à ação de agentes de degradação resultando em manifestações patológicas. A aplicação de uma metodologia correta de intervenção, o conhecimento aprofundado dos materiais e técnicas construtivas, bem como a busca da origem dos problemas são questões essenciais e determinantes para a obtenção de resultados eficientes. Para tal é necessária a interação com as diversas áreas do conhecimento envolvidas na complexidade do processo (GUERRA; PERES, 2012).

Em relação aos materiais utilizados em edificações e bens culturais em geral, Moreschi (2011) cita que a madeira ocupa posição destacada. Pois apresenta uma ampla gama de aplicações e acrescenta que é um material renovável e importante. Mas pode ser deteriorada por agentes biológicos, reações químicas e outros agentes. Afirma ainda, que dentre todos os agentes, os biológicos são os de maior importância, sendo os fungos os responsáveis pela maior proporção de danos causados à madeira.

Silva, em 2005, realizou um estudo sobre deterioração, durabilidade e preservação de madeiras. Para o autor, a deterioração da madeira pode ser definida como qualquer alteração indesejável nas suas propriedades, devido à ação de agentes físicos, químicos e biológicos. “Agindo isoladamente ou em conjunto, os

agentes biológicos, também denominados xilófagos¹, são os agentes deterioradores mais importantes e que provocam os maiores danos.”

Além dos fungos, os insetos xilófagos também ocupam papel de destaque na biodeterioração da madeira. Dentre estes, dois grupos são economicamente os mais importantes: os cupins e as brocas² (LELIS, 2000). Em Ouro Preto, ao longo da cidade é possível observar edificações históricas constituídas de estruturas de madeira que sofrem ataque conjunto de fungos e insetos xilófagos. Este favorecido principalmente pelo clima bastante úmido da região.

Neste estudo, foram analisadas quais as medidas são mais eficazes para alcançar os objetivos desejados para preservação, conservação e restauração da madeira sem que a obra sofra intervenções inadequadas ou agressivas, com materiais incompatíveis ou que descaracterizem a obra.

1. JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento deste estudo é de singular importância uma vez que abrange vários aspectos da madeira, desde o conhecimento de sua constituição, ação dos deteriorógenos, prevenção e tratamento de madeiras inseridas nas edificações.

“Num país como o Brasil, que surgiu de densas florestas, a obtenção de madeira sempre se deu de forma fácil e abundante; antigamente, os gastos se resumiam apenas à mão-de-obra para sua extração” (SILVA, 2005). Atualmente, seus gastos se resumem à sua preservação, conservação e restauração.

O tempo por si só não causa a degradação da madeira, nem o homem somente. A degradação da madeira ocorre por uma ação conjunta humana, biológica e química. Que com o tempo, agrava o estado de conservação da mesma. O ataque à madeira está diretamente relacionado ao tipo de madeira em questão (sua resistência e durabilidade). Também às condições do local onde se encontra (temperatura, umidade, etc), que podem ser favoráveis aos ataques de insetos xilófagos, dentre outros biodeterioradores.

“A preservação da madeira tem a função de desenvolver processos e

¹ Organismos xilófagos são aqueles que utilizam a madeira como fonte de alimento. Podem ser microrganismos (bactérias e fungos), insetos (cupins e brocas de madeira) e perfuradores marinhos (moluscos e crustáceos).

² Os cupins são insetos xilófagos pertencentes a ordem Isóptera e as brocas são da ordem Coleóptera.

produtos que visem ao retardamento da deterioração da madeira, protegendo-a contra os mencionados agentes deterioradores e aumentando a sua durabilidade” (SILVA, 2005).

Sabe-se que as edificações coloniais, vernaculares, possuem grandes quantidades de madeira em sua estrutura: no telhado, piso, forro, baldrame, a estrutura do pau-a-pique, entre outros.

Ações preservacionistas legais ou práticas (reabilitação, restauração, reparo, etc) requerem uma avaliação crítica e aprofundada do estado da estrutura. Um trabalho de revisão que aprofunde o conhecimento sobre a biodeterioração da madeira e sobre os possíveis tratamentos específicos torna-se de grande importância na realização de uma intervenção restauradora.

Este trabalho consistiu em realizar revisão bibliográfica abordando desde a estrutura, os danos e os agentes deteiriógenos de estruturas de madeira de edificações bem como os possíveis tratamentos visando à conservação deste material ainda tão utilizado em construções em todo o mundo. Revela-se de grande importância para restauradores, uma vez que a partir da aquisição de conhecimentos sobre a madeira torna-se mais fácil o diagnóstico das patologias envolvendo biodeteiriógenos e, conseqüentemente, a intervenção realizada com fins de conservação e restauração.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Caracterização da biodegradação e do tratamento da madeira em edificações.

2.2 Objetivos Específicos

- Relatar as características gerais da madeira (estrutura, composição e tipos de madeira);
- Identificar os agentes biodeteiriógenos da madeira (bactérias, fungos, insetos xilófagos), relatando o mecanismo da ação degradadora e as condições propícias ao seu desenvolvimento;
- Analisar os trabalhos realizados, principalmente no Brasil, envolvendo a

identificação de biodeteriogenos da madeira de edificações e suas consequências para esta;

- Abordar os principais métodos de tratamento realizados para a preservação de madeiras utilizadas em edificações, sua eficácia e suas limitações.

3. METODOLOGIA

Este estudo classifica-se como uma pesquisa de revisão bibliográfica com abordagem nos aspectos gerais da madeira, na sua biodeterioração e no seu tratamento. Através de leituras exploratórias, seletivas e analíticas de artigos, teses, dissertações, livros e revistas em português, inglês e espanhol, encontrados em fontes de busca como Scielo, Medline e Lilacs.

Os termos e palavras-chave utilizados para a pesquisa foram: biodegradação, madeira e restauração. Artigos adicionais foram obtidos através do rastreamento de citação de artigos de revisão e originais. Esta pesquisa foi estruturada em seis fases distintas:

Primeira fase: realização de pesquisas e revisões bibliográficas sobre aspectos do tema em estudo. Neste caso, foi realizada uma busca de documentos, livros, artigos, teses e dissertações sobre a madeira inserida no corpo das edificações, suas patologias e métodos de tratamento;

Segunda fase: títulos, resumos e, quando necessário, o texto completo dos estudos encontrados na primeira fase foram examinados para identificar e selecionar os trabalhos importantes para esta revisão;

Terceira fase: Os dados relevantes dos estudos selecionados na segunda fase e que se referiam à estrutura e composição da madeira, tipos de madeira existentes, sua resistência e durabilidade, foram extraídos e sumarizados nesta revisão;

Quarta fase: revisão, baseada nos estudos selecionados na segunda fase, da biodegradação da madeira; dos principais agentes de biodeterioração. E formas de identifica-los;

Quinta fase: Também com base nos estudos selecionados em etapa anterior, fazer avaliação da influência externa (intempéries, ação humana,

biodegradadores) na deterioração das madeiras inseridas em uma edificação e das condições propícias para o desenvolvimento dos agentes biológicos;

Sexta fase: Analisar e sintetizar os estudos originais desenvolvidos no Brasil sobre biodeterioração da madeira; e, ainda, analisar quais as formas de tratamento/conservação/restauração da madeira relatando as medidas intervencionistas para prolongar sua durabilidade e resistência sem agredir física e quimicamente o material.

3.1 Etapas:

Primeira - Pesquisa bibliográfica para levantamento dos estudos sobre estrutura/biodegradação/tratamento da madeira;

Segunda - Leitura e seleção dos estudos referentes e relevantes ao tema em questão;

Terceira - Análise/síntese dos estudos sobre composição e estrutura das madeiras;

Quarta - Análise/síntese dos estudos referentes aos principais agentes biodeteriogenos da madeira e as condições propícias para o seu desenvolvimento;

Quinta - Apresentação do projeto para pré-banca;

Sexta - Abordar a eficácia dos tratamentos realizados em madeiras componentes da estrutura de uma edificação;

Sétima - Análise/ síntese dos estudos originais desenvolvidos no Brasil sobre biodeterioração da madeira;

Oitava - Revisão e finalização do trabalho;

Nona - Apresentação do projeto para a banca examinadora final.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Como a madeira é um produto das árvores, este estudo sobre conservação e restauração da madeira inicia-se com um breve relato sobre as espécies, famílias e gêneros das produtoras desta matéria-prima.

4.1 Botânica

Gonzaga (2006) afirma em seu estudo que segundo a “classificação de Engler para os vegetais, as árvores encontram-se na divisão das fanerógamas, plantas superiores que se subdividem em *gimnospermas* (apresentam sementes nuas) e *angiospermas* (com sementes em “vasos” – os frutos)”.

Gimnospermas: as árvores estão na ordem das coníferas, que estão presentes na Terra desde o período carbonífero (era Paleozóica). E são muito comuns em maior escala no Hemisfério Norte onde são denominadas “*softwoods*” (“madeiras macias”) (CANEVA et al., 2000). Essas madeiras respondem a quase metade do consumo mundial.

No Brasil há somente duas famílias de coníferas nativas: Podocarpaceae e Araucariaceae. A primeira possui três espécies é mais comum no sudeste e sul do país. É vulgarmente denominada “pinheirinho, pinho-bravo e pinheiro do mato”. A segunda possui uma só espécie, *Araucaria angustifolia*, comum nas regiões sul e parte do sudeste, atualmente escassa já que houve exploração desenfreada no passado (CAMARGOS, 2001; MEDEIROS, 2004; GONZAGA, 2006).

Angiospermas: segundo Gonzaga (2006), as angiospermas são mais organizadas, surgiram no período cretáceo, dominam as florestas brasileiras e subdividem-se em:

Monocotiledôneas: frutos sem sementes divididas;

Dicotiledôneas: sementes divididas em dois cotilédones, também denominadas “folhosas”. Respondem por quase totalidade da produção madeireira possuindo milhares de espécies. No Hemisfério Norte são denominadas “*hardwoods*” ou “madeiras duras” (CANEVA et al., 2000).

As famílias produtoras de madeiras de lei³ mais usadas no Brasil e que mais se destacam são: Leguminosae, Meliaceae, Bignoneaceae, Lauraceae, Moraceae, Apocynaceae e Araucariaceae (GONZAGA, 2006).

³ “A portaria normativa IBDF 302/84 define, assim, “Madeira de Lei” - “Espécies de valor comercial, as quais são utilizadas principalmente em indústrias, como as serrarias, as fabricas de móveis, de compensados e de laminados, etc”. Tecnicamente, essa é uma definição generalizada, vaga e incompleta, pois, não caracteriza a qualidade da madeira. Já o “Dicionário do Engenheiro”, 2ª edição, p. 403, refere-se à madeira de lei como sendo: madeira nobre, dura e resistente às intempéries, capaz de resistir ao ataque de insetos - cupins, brocas e fungos. Essa definição vem complementar tecnicamente a definição da Portaria Normativa IBDF 302/84”.
Fonte: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=37&Cod=414> acesso 29-04-2013.

4.2 Anatomia da madeira

De acordo com Burger e Richter (1991) “a madeira é um conjunto heterogêneo de diferentes tipos de células com propriedades específicas para desempenharem as funções vitais [...]”. Essas funções vitais são descritas como: condução de líquidos, transformação/armazenamento/transporte de substâncias nutritivas e sustentação do vegetal. Machado, em seus estudos destaca que

A origem biológica da madeira, constituída essencialmente por uma matriz relativamente hidrofóbica e de fibras hidrofílicas, a distingue de outros materiais industriais. Porém, é também responsável por sua degradação por microrganismos, insetos, radiações UV, chuva e calor [CLAUSEN (1996), KIN; SINGH (2000), MADEIRA (2004) apud MACHADO et. al, 2006, p.1].

No mesmo artigo ela segue enfatizando que

[...] A madeira é um material natural, composto de celulose e hemicelulose, portanto, é alimento para um importante grupo de organismos extremamente ativos – os organismos xilófagos –, que utilizam a madeira como sua principal fonte de nutrição. Esse processo leva à decomposição do substrato, ou seja, à redução do material aos seus elementos constitutivos [SJÖSTRÖM (1981) et al. apud MACHADO et al., 2006, p.1]

Fica claro a partir dessas informações que os elementos constitutivos da madeira são atrativos para biodegradadores naturais que a destruirão pouco a pouco. Isso porque sendo matéria orgânica é fonte de alimento para estes insetos.

Segundo Gonzaga (2006), o tronco de uma árvore pode ser descrito como “uma pilha de cones superpostos”. Se o tronco for cortado transversalmente ver-se-á círculos concêntricos denominados anéis de crescimento. A partir de um determinado tempo o tronco não cresce mais verticalmente, somente as pontas dos galhos. O tronco pode crescer horizontalmente cerca de “dois anéis” por ano.

Em uma seção transversal do tronco as seguintes partes se destacam macroscopicamente:

Casca exterior - parte seca e inerte que cumpre a função de proteger o tronco;

Casca interior ou floema - conjunto de tecidos vivos especializados para a condução da seiva elaborada a ser distribuída ao câmbio e ao alburno.

Cambium - tecido meristemático, ou seja, possui aptidão para gerar novos elementos celulares. É constituído por uma camada de células localizadas

entre o xilema e o floema (BURGER; RICHTER, 1991). O crescimento do cambium é diametral gerando um anel exterior para o floema e um interior para o xilema (GONZAGA, 2006). Esses anéis revelam a idade da árvore e as condições climáticas favoráveis em que ocorreu predominantemente seu desenvolvimento.

Anéis de crescimento - em clima temperado, os anéis de crescimento representam o “incremento anual da árvore”. Um anel típico de crescimento é distinguido em duas partes: lenho inicial (ou primaveril) e lenho tardio (ou outonal ou estival) (BURGER; RICHTER, 1991).

Xilema - constitui a madeira propriamente dita sendo dividido em alburno, a camada mais externa; e, em cerne ou durame que corresponde à camada mais interna. O cerne representa a madeira em suas cores, características e desempenho conhecidos. Pode-se dizer que quanto mais contrastado do cerne, mais fraco e vulnerável será o alburno (GONZAGA, 2006). As principais diferenças entre o cerne e alburno são: “o cerne apresenta, via de regra, cor mais escura; menor teor de umidade devido à redução da atividade fisiológica; é mais resistente ao ataque de agentes xilófagos e degradadores; é menos permeável, secando e recebendo soluções preservativas com mais dificuldade” (BURGER; RICHTER, 1991).

Raios - são definidos como “faixas horizontais de comprimento indeterminado, formadas por células parenquimáticas” e têm como função armazenar substâncias nutritivas (BURGER; RICHTER, 1991).

Medula - porção que geralmente ocupa o centro do tronco e desempenha a função de armazenar substâncias nutritivas (SILVA, 2005). A medula é constituída de tecido parenquimático o que a torna uma região muito suscetível a apodrecimentos causados por fungos (“toras ocas”) (BURGER; RICHTER, 1991).

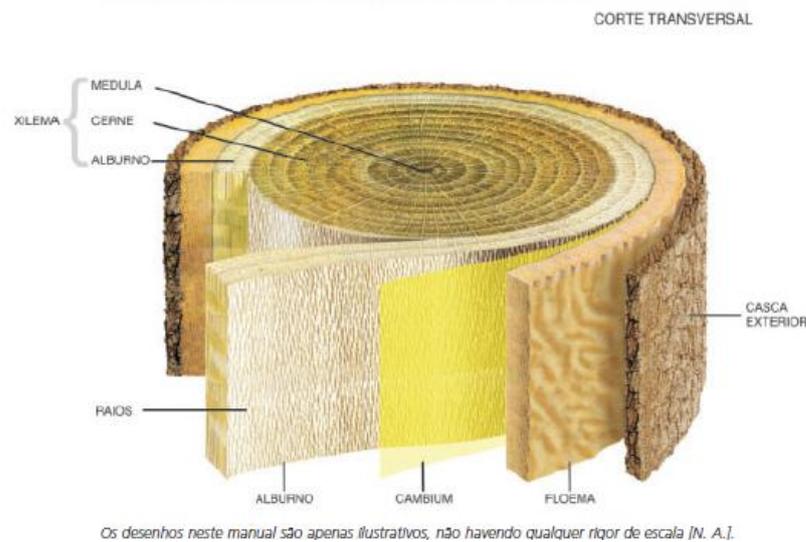


Figura 1: Desenho esquemático da anatomia do tronco de uma folhosa. Imagem extraída de GONZAGA (2006).

4.3 Composição química da madeira

Basicamente, a estrutura da madeira é composta pela combinação química da água (H_2O) que é retirada do solo, com gás carbônico (CO_2) retirado do ar pelas folhas, com ação dos raios do sol. Este processo é denominado fotossíntese e acontece de acordo com a reação:



Sendo que o CH_2O é o elemento básico para a formação dos açúcares constitutivos da estrutura molecular da árvore (GONZAGA, 2006). Abaixo, destacamos este processo que

Na quase totalidade dos vegetais, incluindo as árvores, a partir de solução aquosa com baixa concentração de sais minerais, a seiva bruta, retirada do solo pelas raízes, e de gás carbônico do ar atmosférico, na presença de clorofila contida nas folhas e utilizando calor e luz solar, ocorre a síntese de hidrato de carbono, monossacarídeo com elevado potencial de polimerização. Reações de polimerização subseqüentes originam os açúcares que, por sua vez, formam as substâncias orgânicas constituintes da estrutura anatômica dos vegetais. As mais importantes são a celulose, a hemicelulose (ou poliose) e a lignina. (COSTA, 2001, p.7).

Celulose - é um polissacarídeo linear, com alto peso molecular, não solúvel em água (COSTA, 2001). É um polímero composto de centenas de glicoses (açúcares) que formam cadeias muito estáveis (que pode chegar a conter até 10.000 elementos) (GONZAGA, 2006). Devido as suas propriedades químicas e físicas,

preenche a função de principal componente da parede celular dos vegetais (KLOK et al. 2005).

Polioses (Hemiceluloses) - As hemiceluloses são constituídas por várias unidades glicosídicas ligadas entre si sendo as pentoses (xilose e arabinose) e hexoses as mais frequentes. Apresentam baixa polimerização, não produzem fibras e nem possuem regiões cristalinas. Elas compreendem entre 20% e 28% dos tecidos das folhosas (COSTA, 2001; GONZAGA, 2006).

Existem diferenças entre as hemiceluloses das resinosas e folhosas, tanto ao nível da quantidade em que estão presentes nestas madeiras (as folhosas têm teores mais elevados de hemiceluloses do que as resinosas), quanto ao nível do tipo de açúcares que as constituem (SILVA, 2010). Na parede celular, as hemiceluloses exercem o papel de matriz de suporte das microfibrilas, tendo aparentemente uma distribuição uniforme por toda a parede (SILVA, 2010 *apud* PARHAM, 1982b).

Lignina - O terceiro maior constituinte da madeira é a lignina, molécula polifenólica tridimensional, pertencente ao grupo dos fenilpropanos, de estrutura complexa e alto peso molecular. “Exerce a função de adesivo entre diversos tecidos da madeira, conferindo-lhe dureza e a resistência característica a esforços mecânicos” (COSTA, 2001; GONZAGA, 2006).

A formação da lignina se dá

a partir da oxidação e subseqüentes reações de polimerização de três monômeros fenilpropanos, o p-álcool cumarílico, álcool coniferílico e o álcool sinapílico. O anel aromático destes álcoois é denominado respectivamente por p-hidroxifenil (H), guaiacil (G), e siringil (S) estando cada um destes na base dos diferentes tipos de lignina (SILVA, 2010).

Extrativos - além dos componentes acima, a madeira é composta por várias substâncias que podem ser dela extraídas. Nas coníferas encontram-se as terebentinas (voláteis) e o breu (não volátil). Nas folhosas há uma variedade maior, englobando os compostos fenólicos, aromáticos, taninos, nitrogenados e vários carboidratos. A acentuada perda desses extrativos produz o colapso da madeira (GONZAGA, 2006).

Consideradas constituintes secundários, diversas substâncias podem ser extraídas da madeira por intermédio da água, de solventes orgânicos ou por volatilização. São os extrativos, que abrangem taninos, óleos, gomas, resinas, corantes, sais de ácidos orgânicos, compostos aromáticos, depositados

preponderantemente no cerne, conferindo-lhe coloração mais acentuada e maior densidade (COSTA, 2001).

5. DEGRADAÇÃO DA MADEIRA

5.1 Fatores não biológicos

Apesar de ser muito vantajoso o uso da madeira, há desvantagens relacionadas à sua degradação. Segundo Gonzaga (2006), os principais fatores não biológicos para deterioração da madeira são:

Combustão - de acordo com o autor, a madeira é combustível e deveria ser utilizada somente quando seca.

Intemperismo - a madeira é utilizada também em obras em que esta fica externa, sujeita ao intemperismo. Quando a madeira for utilizada desta forma, deve-se ter cuidados maiores a fim de preservá-la. O autor faz a seguinte relação entre agente e efeito:

Agente	Efeito
Raios solares (ultravioleta)	Retração (perda de umidade) superficial Descoloramento (aspecto acinzentado)
Raios solares (infravermelho)	Retração, perda de extrativos em profundidade, colapso
Chuva	Umidade (água doce) Degradação pelo ácido carbônico
Variação térmica e de umidade relativa do ar	Fendilhamento da superfície, empenamento e o aprofundamento das fendas, colapso.

Figura 2: Relação madeira x degradação não biológica.
Imagem extraída de GONZAGA (2006).

Além desses fatores não biológicos citados por Gonzaga (2006), há outros fatores de deterioração não biológicos, tais como:

Mecânicos - em que “a ação do movimento mecânico provoca um desgaste na madeira” (SILVA, 2005);

Químicos - a madeira por estar sujeita a “substâncias ácidas ou básicas”

(SILVA, 2005);

Físico-químicos - referentes à “poluição ambiental, ‘weathering’” (SILVA, 2005).

Embora todos estes agentes degradem a madeira, os agentes biológicos são considerados de maior importância, mas um interfere para a ação do outro.

5.2 Fatores biológicos

De acordo com os estudos de Moreschi “em cada ambiente que a madeira é utilizada, ocorre uma combinação de organismos que podem atacá-la simultaneamente” (MORESCHI, 2011).

Obviamente o clima poderá favorecer ou desfavorecer o ataque biológico ou o degradante. Gonzaga (2006) relata que em clima tropical ou subtropical “a ação dos agentes biológicos é muito mais intensa do que em clima frio.” Os fenômenos de biodeterioração só ocorrerão se as condições microclimáticas, com destaque para a temperatura e umidade relativa, estiverem favoráveis ao desenvolvimento dos biodeteriôgenos (CANEVA, et al 2000). Estes fatores têm que ser levados em consideração ao se fazer um diagnóstico da patologia da madeira para a realização de uma intervenção de restauração.

5.2.1 Bactérias

As bactérias são organismos microscópicos, unicelulares e desempenham um papel ecológico muito importante durante a colonização da madeira. São os primeiros organismos a colonizar a madeira e podem propiciar condições mais favoráveis ao desenvolvimento e instalação futura de outros organismos, especialmente os fungos (SILVA, 2005).

Algumas bactérias, como *Pseudomonas* e *Achromobacter* são capazes de degradar ou inativar os compostos/preservativos químicos da madeira, causando erosões e formações de cavidades nas paredes celulares da madeira, facilitando o ataque de moluscos e crustáceos xilófagos (CANEVA et al., 2000; SILVA, 2005). Segundo Gonzaga (2006) as bactérias “gram-positivas têm capacidade enzimática de decompor a celulose e hemiceluloses. Rompendo as pontuações, facilitam a penetração das hifas dos fungos apodrecedores” (MORESCHI, 2011). Abaixo o autor ainda segue esclarecendo detalhadamente o ataque de bactérias.

As bactérias atacam a madeira no estado úmido. [...]. O ataque por bactérias

é feito de forma lenta, inicialmente com a utilização dos materiais de reservas existentes nas células parenquimáticas que formam o tecido radial e, posteriormente, nas paredes celulares deste tecido e de tecidos vizinhos formados por fibras/traqueoides. Como resultado do ataque de bactérias, com predominância nas células radiais e tecidos vizinhos, a madeira fica perfurada e se torna mais higroscópica. A esse tipo de dano, denomina-se “perfuração radial”. [...]. As enzimas das bactérias atacam principalmente a pectina, a celulose e a lignina da madeira. Além do ataque enzimático, as bactérias podem produzir substâncias que inibam (mais usual) ou favoreçam o desenvolvimento de outros agentes. [...] desempenham um papel importante na biodeterioração: na madeira úmida ou com elevado teor de umidade, são os primeiros organismos a se instalarem, ocupam todo o espaço físico da superfície do material com rapidez e normalmente promovem interações com outros tipos de organismos xilófagos (MORESCHI, 2011).

A área atacada por bactérias aparece, macroscopicamente, como “pequenas manchas distribuídas na superfície da madeira; em estágios avançados, pode ocorrer o amolecimento dessas áreas. Em certas situações, as enzimas segregadas pelas bactérias podem conferir à madeira um cheiro bastante desagradável” (SILVA, 2005).

Contudo, as bactérias têm uma participação menor que os fungos na degradação da madeira uma vez que exigem um elevado conteúdo de água para se desenvolverem. Desta forma, a degradação por bactérias terá a sua maior importância em madeiras subterrâneas ou que estejam submersas em água (CANEVA et al., 2000).

5.2.2 Fungos

Os fungos são agentes biológicos que se nutrem de matéria orgânica em decomposição (SILVA, 2005). Eles atacam a madeira em proporções maiores, uma vez que ocorrem em quase todos os nichos ecológicos onde a madeira é utilizada (MORESCHI, 2011).

Os fungos utilizam material orgânico como pectina, celulose, lignina, amido e proteínas presentes na madeira como fonte de energia. Os fungos produzem e lançam no ambiente ácidos orgânicos e inorgânicos; além de uma série de exoenzimas como as pectinases, amilases, proteinases, ligninases, etc capazes de decompor os mais complexos compostos orgânicos (MELO; AZEVEDO, 2008).

Para que os fungos se desenvolvam, é necessário que o ambiente apresente algumas condições:

Temperatura - a temperatura ideal para o desenvolvimento da maioria dos fungos é entre 25°C a 30°C; mas também podem ocorrer em temperaturas acima de 0°C ou abaixo de 60°C (MENDES; ALVES, 1988; GONZAGA, 2006).

Umidade - de modo geral, o ataque de fungos ocorre quando a madeira apresenta umidade acima de 20% (MENDES; ALVES, 1988). Por outro lado, Moreschi, 2011 relata que cada tipo de fungo possui um teor ideal de umidade diferenciado:

- De 20 a 40% = fungos de podridão seca;
- De 40 a 50% = fungos de podridão úmida;
- De 30 a 80% = fungos de podridão mole;
- Acima de 20% = fungos manchadores e emboloradores.

pH - os fungos não toleram meios alcalinos (pH acima de 7). O pH ideal para o seu desenvolvimento situa-se na faixa ácida (entre 4,5 e 5,5) (MENDES; ALVES, 1988; GONZAGA, 2006). Contudo, é possível o desenvolvimento destes organismos no intervalo de pH de 2,0 a 9,0 (MORESCHI, 2011).

Oxigênio - significa aeração, segundo Gonzaga (2006), pois não sobrevivem se submersos. Segundo Moreschi (2011) os fungos “têm condições de se desenvolver a baixos teores de oxigênio na atmosfera” e “teores de oxigênio de aproximadamente 1% já permitem o desenvolvimento de fungos e, quanto maior ele for, (...), maior será a atividade destes microrganismos”.

Pouca luz solar - os fungos não resistem à ação direta dos raios ultravioleta (GONZAGA, 2006).

Os fungos que degradam a madeira podem ser divididos em:

Fungos de Podridão Branca: Os principais fungos causadores da podridão branca pertencem à classe dos basidiomicetos. A madeira que é atacada por este tipo de fungo perde seu aspecto lustroso e cor natural, tornando-se esbranquiçada (presença de bolsas brancas na superfície) devido à destruição de pigmentos. Além deste aspecto, a madeira sofre perda de peso e resistência, conseqüente ao contínuo consumo da celulose, hemicelulose e da lignina (MENDES; ALVES, 1988; CANEVA et al., 2000; GONZAGA, 2006; MORESCHI, 2011).

Fungos de Podridão Parda: Estes fungos degradam a celulose e a

hemicelulose deixando a lignina, que possui cor castanha/marrom, praticamente intacta o que confere à madeira um aspecto pardo-esuro. A madeira atacada por fungos de podridão parda apresenta aspecto de queimada com rachaduras longitudinais. Devido à destruição dos elementos estruturais das paredes celulares há perda da resistência mecânica da madeira. Os principais agentes são os basidiomicetos (MENDES; ALVES, 1988; CANEVA et al., 2000; GONZAGA, 2006; MORESCHI, 2011).

Fungos da Podridão Mole: Os principais agentes são os ascomicetos que degradam a celulose e a hemicelulose. O ataque é relativamente lento e superficial, dificilmente penetrando mais que 2 cm. A madeira após o ataque apresenta trincas transversais e superfície amolecida. Os fungos da podridão mole possuem alta tolerância à maioria dos princípios ativos de formulações preservativas para madeiras, tornando difícil seu controle (CANEVA et al., 2000; GONZAGA, 2006; MORESCHI, 2011).

Fungos Manchadores: Os principais fungos manchadores pertencem à classe dos ascomicetos. As manchas ocorrem devido à produção de pigmentos ou pela presença de hifas fúngicas escuras como ocorrem nos fungos dematiáceos. Dentre os fungos manchadores, os mais importantes economicamente são os causadores da mancha azul. Contudo, apesar do dano estético, a deterioração causada por esse tipo de fungo é considerada secundária, uma vez que a perda de peso e das propriedades mecânicas da madeira não é observada a níveis significativos (MENDES; ALVES, 1988; CANEVA et al., 2000; MORESCHI, 2011).



Figura 3: Características de madeira atacada por “fungos manchadores” - penetração pelo topo. Imagem extraída de MORESCHI, 2011.

Bolor: Os principais fungos causadores do bolor são os ascomicetos e shizomicetos. (SILVA, 2005; MORESCHI, 2011). O bolor corresponde a uma massa de esporos observada na superfície da madeira que a deixa com aparência algodoadada; contudo, as hifas fúngicas penetram profundamente no alburno e extraem seus nutrientes. As hifas destes fungos não apresentam pigmentação. De maneira geral, os fungos emboloradores apresentam elevada tolerância à maioria dos princípios ativos de formulações preservantes, o que torna o seu controle difícil (SILVA, 2005; MORESCHI, 2011).

“A madeira intensamente embolorada apresenta redução na sua resistência ao impacto, mas as outras propriedades mecânicas são pouco afetadas (...)” (SILVA, 2005).



Figura 4: Topo de tora verde de *Pinus spp* estocada ar livre com a presença de bolor. Imagem extraída de KLOK, et al., 2005).

5.2.3 Fungos

A classe Insecta é o ‘grupo dominante de animais na terra, ultrapassando, de longe, a soma de todos os outros animais e plantas’ (SILVA, 2005). Dentre os insetos encontram-se cupins, brocas, abelhas, formigas, vespas. Os dois primeiros são os dois grupos economicamente mais importantes (LELIS, 2000) e são os xilófagos. Os outros insetos citados não são xilófagos pois não se alimentam do material orgânico da madeira, mas são degradadores da madeira uma vez que a utiliza como ambiente para reprodução e para isso precisam abrir espaço interno e se alojar por um período. Os cupins e brocas de madeira pertencem às ordens Isoptera e Coleoptera, respectivamente.

“Para técnicos da área de biodeterioração da madeira, freqüentemente é suficiente e mais prático usar o tipo de dano causado à madeira e/ou o estado fisiológico do hospedeiro, como uma base para tal classificação, ao invés de se

fazer classificação taxonômica do inseto xilófago. Isto se justifica, pela razão de que certos insetos são encontrados em árvores vivas, enquanto outros preferem madeira de árvores recém abatidas ou mesmo no estado seco. Além disto, os danos causados são normalmente diferenciados de inseto para inseto ou, pelo menos, entre grupos de insetos” (MORESCHI, 2011).

Em função de sua grande importância na deterioração da madeira, seguem-se, abaixo, as principais características dos cupins e brocas de madeira.

- **Isópteros**

Os cupins são extremamente abundantes nos trópicos (SILVA, 2005), climas quentes e úmidos, como os do Brasil, favorecem o seu desenvolvimento. São caracterizados como insetos sociais apresentando colônias formadas por diferentes castas sendo estas as dos reprodutores alados, conhecidos como “siriris” ou “aleluias”, a dos operários e dos soldados (LELIS, 2000). Após o vôo nupcial, os reprodutores agrupam-se em pares como “rei” e “rainha” e instalam-se em aberturas no solo ou em peças de madeira apodrecida, iniciando nova colônia (MENDES; ALVES, 1988). Desta forma, um “sinal freqüente da presença de térmitas é a ocorrência de enxameações, durante as quais centenas de insetos adultos alados saem por juntas da madeira, perdendo as asas e se acasalando, podendo, assim, infestar outras madeiras que apresentem condições propícias” (PORTO et al., 2008). “Dos ovos da rainha nascem, inicialmente, apenas operários, posteriormente soldados e por último os reprodutores” (MENDES; ALVES, 1988).

Os cupins se distribuem em mais de duas mil espécies, distribuídas em sete famílias: Hodotermitidae, Mastotermitidae, Termopsidae, Rhinotermitidae, Kalotermitidae, Termitidae e Serritermitidae. As quatro últimas ocorrem no Brasil e a última delas é exclusiva do Brasil, possuindo apenas uma espécie (SILVA, 2005).

Basicamente, existem dois tipos de cupins: os cupins de madeira (seca e úmida) e os cupins subterrâneos. Eles se locomovem cavando galerias no interior da peça e alimentam-se da celulose, contudo, a “digestão inicial desse polissacarídeo não é, entretanto, feita pelo organismo do cupim, mas com o auxílio de um grupo de protozoários que habitam seu trato digestivo, constituindo-se o fenômeno numa verdadeira simbiose” (MENDES; ALVES, 1988). Os cupins não suportam a luz solar e a grande maioria é cega (GONZAGA, 2006).

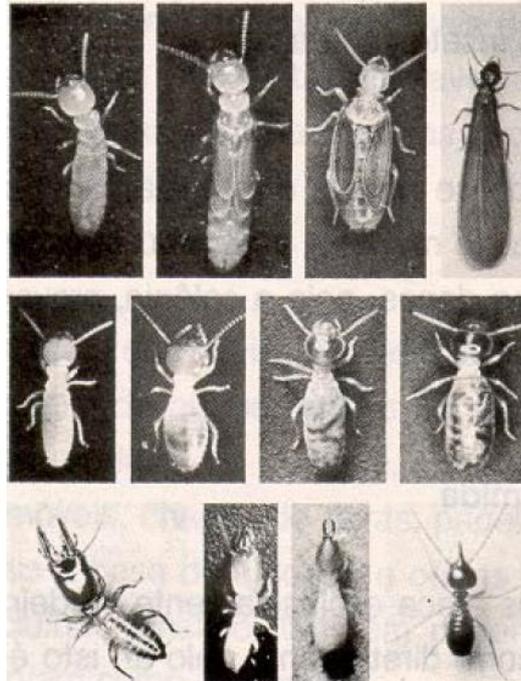


Figura 5: Tipos de 'castas' de cupins.

Na primeira fileira de cima para baixo são mostrados cupins reprodutores em vários estágio de desenvolvimento. No meio, operários de diferentes espécies. Embaixo, soldados
Imagem extraída de MENDES; ALVES (1988).



Figura 6: Detalhe de madeira atacada por insetos xilófagos (cupins e brocas).
Cimalha pertencente ao forro do Átrio da Igreja Matriz de Lobo Leite. Autoria: Keller, 2008

“Fowler & Forti (1990) relatam danos causados por cupins em monumentos históricos e em obras de arte sacra em Parati, Ouro Preto, Bertioga, Itu, Cananéia e Olinda” (Fowler; Forti, 1990 apud ELEOTÉRIO, 2000).

Abaixo segue uma abordagem específica de cada tipo de cupim a fim de facilitar a compreensão do comportamento de cada um.

Cupins subterrâneos ou de solo: As espécies de cupins que vivem no solo ou em contato com o solo formam colônias muito mais populosas que os cupins que vivem na madeira (LELIS, 2000) sendo responsáveis pelo maior volume de madeira destruída do mundo (MENDES; ALVES, 1988). Estes cupins encontram-se em zonas de clima temperado e tropical (SILVA, 2005).

O ataque de cupins de solo pode ser identificado através de pequenas batidas na superfície da madeira sendo o som oco indicativo da sua presença, pois, geralmente, após o ataque, a madeira permanece com uma fina camada externa que oculta as galerias internas feitas pelos tais organismos (MENDES; ALVES, 1988). Além disso, os túneis construídos pelos cupins a partir de terra, saliva e fezes com a função de protegê-los da baixa umidade do ar também constituem indícios de infestação (SU; SCHEFFRAHN, 1990; LELIS, 2000).

Cupins de madeira seca: atacam madeiras com baixo teor de umidade. Pertencem à família Kalotermitidae e “têm sido assinalados como grandes causadores de danos em madeiras da estrutura de edificações, em móveis, livros, tecidos e outros materiais de origem celulósica em área urbana em todo o mundo”(HARRIS, 1971 apud ELEOTÉRIO, 2000).

Estes cupins vivem exclusivamente no interior da madeira que atacam, em galerias longas que possuem pequenos furos para aeração e despejo dos excrementos que são granulados escuros (GONZAGA, 2006). Estes grânulos são os indicadores de que a madeira está sendo atacada (SILVA, 2005).

Cupins de Madeira úmida: atacam madeiras que possuem alto teor de umidade com “indício de apodrecimento” (SILVA, 2005); entretanto, os cupins de madeira úmida ainda não foram relatados no Brasil como pragas em construções (ELEOTÉRIO, 2000). No estudo realizado por Eleotério (2000), não foram observados (...) ataques de cupins de madeira úmida (Termopsidae). Segundo Su & Scheffrahn (1990), esses cupins atacam madeiras úmidas e já degradadas por fungos em construções de várias partes do mundo. No Brasil, LELIS (1976) relata

que espécies de cupins de madeira úmida apenas foram registradas em árvores vivas, mas nunca atacando edificações”.

Ao escavar suas galerias, estes cupins produzem pequeniníssimas pelotas fecais que são lançadas para fora por orifícios abertos temporariamente, auxiliando na sua detecção”(MENDES; ALVES, 1988).

A espécie *Coptotermes havilandi* pode atacar até árvores vivas; a espécie *Neotermes s.p* ataca a madeira úmida, podendo ser esta madeira parte já morta de uma árvore” (SILVA, 2005).

- **Coleópteros (“brocas” e “carunchos”)**

Os insetos pertencentes à ordem dos Coleópteros que engloba milhares de espécies, depois dos cupins, são aqueles que causam maiores danos às madeiras. São conhecidos como carunchos ou brocas e atacam a madeira nas mais diversas condições de umidade e uso. Os mais perniciosos são os do gênero *Lyctus* e *Anobium*, além de outros pertencentes à família dos Cerambicídeos (MENDES; ALVES, 1988; GONZAGA, 2006). A madeira é a fonte de alimento para a maioria da brocas, sobretudo o amido contido nesse substrato (LELIS, 2000).

O ataque por brocas de madeira inicia com o depósito de ovos de uma fêmea adulta na madeira. Desses ovos eclodem larvas que correspondem a fase mais longa da vida do inseto e principal responsável pelos danos na madeira. Em seguida, as larvas atingem o estágio de pupa e, posteriormente, transformam-se em adultos que perfuram a madeira e saem para o meio externo (LELIS, 2000). “Sabe-se que o período larval dura sempre mais que o pupal e que ambos, somados, são muito mais longos que a vida do inseto adulto”(COSTA, 1952). Ao sair da madeira, os insetos adultos abrem um orifício, em torno do qual, é possível observar uma serragem (pó de broca) resultante da escavação feita pelo adulto (LELIS, 2000). Devido a essas características, a identificação de um ataque por carunchos é feita normalmente pela existência de orifícios de saída dos insetos adultos e pela presença de “serrim” sobre a superfície da madeira (SILVA, 2005).

6. DEGRADAÇÃO DA MADEIRA

Ao longo da história do ser humano, há registros do uso da madeira para diversos fins. Inicialmente, o homem primitivo a utilizava para fazer fogueiras, armas

e ferramentas até os dias atuais em que a madeira é empregada em praticamente tudo o que se conhece (edificações, decoração, objetos, ferramentas, etc). De forma semelhante, a sua preservação sempre foi motivo de interesse dos povos.

Ao longo do tempo, a história registra alguns usos da madeira e algumas técnicas de preservação. Talvez a mais antiga se encontre na bíblia. Noé foi instruído por Javé a construir uma arca, uma nave grande o suficiente para abrigar sua família e os casais de animais a preservar. Precisava também armazenar alimentos para um período de pelo menos 40 dias. A bíblia não fala em velas e remos a propulsar a nave, talvez destinada apenas a flutuar, mas traz instruções de calafetação e preservação da madeira com betume (GONZAGA, 2006).

6.1 Aspectos gerais da preservação da madeira

A eficácia dos tratamentos para controle dos agentes de biodeterioração depende tanto dos métodos quanto dos produtos empregados, já que o desenvolvimento dos agentes biodeterioradores persistirá caso sejam mantidas as condições ambientais em que a madeira ou peça em madeira esteja inserida (CANEVA et al., 2000).

Considerando que os problemas decorrentes da biodeterioração da madeira podem assumir proporções gravíssimas, a adoção de medidas preventivas (tratamento utilizando substâncias preservantes) torna-se obrigatória quando há a intenção de utilizar esse material em uma edificação. A aplicação de preservantes químicos proporciona o aumento da resistência da madeira aos organismos deterioradores (LEPAGE, 1986; CAVALCANTE, 1982; CASSENS, 1995 apud MACHADO et al., 2006).

Além disso, é muito importante que, para um controle efetivo e com resultados positivos, sejam realizadas inspeções periódicas na edificação e em seu entorno observando alguns pontos principais, citados por Cruz (2001):

1. Deformações (telhado, etc.);
2. Madeira exposta em mau estado;
3. Telhas partidas / em falta;
4. Algerozes e caleiras danificados / entupidos;
5. Telhado pouco saliente;
6. Remates ineficazes;
7. Crescimento de vegetação;
8. Manchas de humidade;

9. Fendas em paredes;
10. Rebocos desagregados ou fissurados;
11. Caixilharia deteriorada;
12. Falta de faixa impermeabilizante;
13. Canteiros adjacentes;
14. Aberturas de ventilação obstruídas.

Todos esses fatores devem ser observados e, quando possível, controlados ou eliminados, uma vez que a degradação da madeira ocorre por uma ação conjunta entre agentes biológicos e não biológicos. Desconsiderar a importância destes fatores irá favorecer a biodeterioração da madeira inserida na edificação.

6.2 Preservantes da madeira

Qualquer substância química que seja capaz de provocar o envenenamento dos nutrientes celulares da madeira, tornando-a resistente ao ataque de fungos e insetos é denominada preservativo da madeira (MENDES; ALVES, 1988; GALVÃO et al., 2004). Segundo Mendes; Alves (1988), o bom preservativo deve apresentar as seguintes características:

- Boa toxidez;
- Não ser volátil nem lixiviável;
- Não se decompor nem se alterar e ter alta permanência na madeira;
- Não corroer o ferro ou outros metais;
- Não ser inflamável;
- Não deve alterar as propriedades físicas e mecânicas da madeira;
- Não deve alterar a cor da madeira;
- Deve ser inodoro e de baixa toxidez ao homem e animais domésticos;
- Ser econômico; e
- Fácil de ser encontrado no comércio.

Todas estas características dificilmente serão encontradas em um único preservativo. Mas o uso de determinado preservativo dependerá também da peça que se pretende preservar podendo não haver necessidade de apresentar todas estas características. Os protetores da madeira devem ser constituídos por substâncias com propriedades inseticidas e fungicidas (sais minerais – cobre, flúor, boro e arsênio, e moléculas químicas como os amônios quaternários, etc.), por

produtos fixadores e por solventes cuja função é transportar os constituintes anteriores. Estes preservativos são classificados de acordo com a sua solubilização em óleo ou em água, podendo ser oleossolúveis ou hidrossolúveis (MENDES; ALVES, 1988; RODRIGUES, 2004).

Gonzaga (2006) classifica os preservativos em:

- Naturais ou não industriais tais como a cera de carnaúba e a de abelha;
- Industrializados.

Os preservantes industrializados podem ser compostos nitrados (naftol, etc), sais CCB (cromo, cobre e boro), CFK (cromo, flúor e cobre), CCA (cromo, cobre e arsênio), CX (cobre HDO e boro), dentre outros. Os sais de arsênio, flúor e boro têm características inseticidas, enquanto que os sais de cobre têm características fungicidas (GALVÃO et al., 2004; RODRIGUES, 2004; GONZAGA, 2006).

MACHADO et al. (2006), propõem a utilização da substância azadirachtina, presente em grande concentração no óleo de Neem como preservante natural da madeira para uso na construção civil. Essa molécula apresenta baixa toxicidade a todos os animais de sangue quente e organismos do solo. Sua atuação é imediata, tendo efeito antialimentar (anti-feeding), o que pode levar a um efeito fagoinibidor e fagorrepeleante, impedindo que os organismos xilófagos ataquem a madeira.

De qualquer forma, deve-se considerar a busca de produtos preservativos e processos de tratamento de menor impacto ao meio ambiente e à higiene e segurança, a disponibilidade de produtos no mercado brasileiro, os aspectos estéticos (alteração de cor da madeira, por exemplo), aceitação de acabamento e a necessidade de monitoramento contínuo (IPT: SVMA, 2009 apud SILVA, 2009).

Guerra; Peres (2012) destacam a importância de serem realizadas análises em laboratório para a identificação dos agentes biodeterioradores, principalmente quando se trata de edificação histórica, para que se possa escolher o tratamento mais adequado àquele agente e aquela edificação. E chama atenção para que a escolha do tratamento seja cuidadosamente avaliada, já que “deve-se priorizar o valor ao material histórico e sua autenticidade, não sendo viável a adoção de medidas semelhantes às aplicadas em edificações convencionais devido ao risco de incompatibilidade com os materiais”. (Guerra; Peres, 2012)

A priorização do valor ao material histórico e sua autenticidade é de suma importância uma vez que o trabalho dos conservadores e restauradores é focado em

edificações com valor histórico e cultural. Assim, antes de qualquer intervenção, devem ser feitas análises para confirmar o agente biodeteriorador e ter cuidado ao escolher o produto preservativo e o tratamento que serão aplicados.

6.3 Métodos de aplicação

Rodrigues (2004) cita que os tratamentos preventivos podem ser classificados com base no grau de penetração do protetor como:

Tratamentos superficiais – os protetores são aplicados por pincelagem (uso de três demãos do produto, de preferência em dissolvente orgânico por se obter maior grau de penetração e menor deslavragem), pulverização (manual ou mecânica), ou imersão breve (imersão total da madeira no protetor por curto período de tempo e secagem posterior para a saída do dissolvente). Os protetores usados neste caso são os hidrodispersáveis ou com dissolventes orgânicos (RODRIGUES, 2004).

Tratamentos intermédios – os protetores são usados em imersão prolongada, imersão quente-fria, ou impregnação por autoclave (Vácuo-vácuo ou vácuo-pressão) sendo os mais utilizados os hidrodispersáveis ou com dissolventes orgânicos. No banho quente-frio a madeira é imersa na solução preservativa em torno de 100°C, por até 6 horas. A água da madeira evapora e o ar do interior das células é expulso. Posteriormente, a madeira é levada ao banho-frio (RODRIGUES, 2004, GONZAGA, 2006).

Tratamentos em profundidade – consiste na impregnação por autoclave (vácuo-pressão), na qual os protetores usados podem ser de sais hidrossolúveis ou com dissolventes orgânicos. Os tratamentos por autoclave são usados em madeiras com baixo grau de permeabilidade (RODRIGUES, 2004).

Segundo Santini (1988), existem várias metodologias já consolidadas para o tratamento de preservação de madeiras que levam em consideração o tipo de madeira e a sua finalidade. Os métodos mais simples não utilizam pressão e são: pincelamento, aspersão, imersão simples, difusão, substituição da seiva, processo de Boucherie, banho quente-frio, injeção preservativa e impregnação de árvore em pé. Os métodos mais complexos, que utilizam pressão artificial para a impregnação do preservativo na madeira são: célula cheia (processo de Bethell, processo Brunett, processo Boulton e processo duplo vácuo) e célula vazia (processo Rüping e processo Lowry). (...) **De acordo com Bonturi (1998) é mais econômico e mais simples utilizar-se metodologias que**

previnam infestações por cupins do que combater a infestação (SANTINI, 1988 apud ELEOTÉRIO,2000).

Além dos tratamentos com produtos químicos, Gonzaga (2006) relata alguns métodos de tratamentos biológicos que seriam mais naturais para afastar ou eliminar xilófagos e que seriam considerados “ecologicamente corretos”:

Hormônios sexuais e feromônios - para atrair insetos para armadilhas;

Papel cola - com iluminação noturna, atrairá e capturará insetos (fototropismo);

Micélios de *Trichoderma virides* e *Scytalidium spp* - tóxico para muitos fungos manchadores e apodrecedores.

Extrativos vegetais - a busca atual por extrativos vegetais naturais, eficientes contra fungos manchadores e apodrecedores, mantém a tendência de evitar o emprego de formulações químicas, de alta toxicidade. Alguns produtos já se encontram disponíveis no mercado, com resultados satisfatórios (GONZAGA, 2006).

6.4 Prevenção e tratamento da madeira atacada por cupim

Para se determinar que métodos e produtos devam ser usados no combate aos cupins, deve-se, inicialmente, fazer um cuidadoso diagnóstico do problema. Em caso de edificações com valor histórico, essa análise deve ser mais rigorosa, pois o uso de determinados produtos podem alterar alguns de seus elementos (PORTO et al., 2008).

As medidas de preservação contra ataques de cupins implicam no “envenenamento das substâncias nutrientes, uma vez que as demais condições vitais para estes organismos, tais como temperatura e teor de umidade, são de difícil controle e, muitas vezes, impraticáveis” (SILVA, 2005), como é no caso de uma edificação. A melhor proteção da madeira é alcançada através da imunização total da peça com substâncias tóxicas (SILVA, 2005).

Uma maneira muito interessante de controlar a umidade das madeiras inseridas em edificação para controlar ataques de cupins e até mesmo de fungos, é fazer aberturas de 20 cm² para cada metro linear para melhorar a ventilação interna e eliminar goteiras, vazamentos das tubulações (GALVÃO et al., 2004).

Devido ao fato de os cupins subterrâneos manterem suas colônias permanentemente no solo, e só se locomoverem até a madeira para obter

alimentação, o combate destes indivíduos deve ser efetuado no solo. Para tanto, há necessidade de encontrarmos meios de acesso à colônia, com a finalidade de atingi-la com produtos tóxicos (MORESCHI, 2011). GALVÃO et al., (2004) recomendam que, para controlar o ataque de cupim de solo, deve ser realizado o envenenamento do solo ao redor das fundações até uma profundidade máxima de 50 cm. Após a realização destas aberturas, deve-se preenchê-las com sucessivas camadas de terra regadas com solução inseticida (GALVÃO et al., 2004). Paralelamente, é aconselhável a substituição das peças de madeira atacadas por peças não atacadas e tratadas (MORESCHI, 2011).

Em relação aos cupins de madeira seca, o controle pode ser realizado baseando-se no tipo de ataque. Quando o ataque é ameno, o ideal é substituição de peças atacadas por peças não atacadas e tratadas, ou com resistência natural. Quando o ataque é severo, é recomendável a fumigação de toda a estrutura com brometo de metila (CH₃ Br) (MORESCHI, 2011).

A melhor maneira de prevenção contra o cupim é a utilização de madeiras já tratadas com preservativos. Mas quando isso não for possível, deve-se substituir a madeira atacada por uma tratada ou, se não for conveniente a substituição das peças, pode-se erradicar os cupins com o auxílio de produtos químicos inseticidas (GALVÃO et al., 2004).

O inseticida deverá ser inserido nas galerias existentes no interior da madeira atacada. Para que isso seja viável, em alguns casos, deve-se expor um pouco a galeria abrindo a madeira cuidadosamente para a introdução de um tubo fino de borracha ou plástico. “Com o auxílio de um bulbo de borracha o inseticida poderá ser insuflado” (GALVÃO et al., 2004). As aplicações devem ser executadas em todas as galerias possíveis e, em galerias menores, podem ser usadas seringas (utilizadas para fins médicos) que devem ser descartadas após seu uso (GALVÃO et al., 2004).

“Segundo Lelis (1999), a densidade e a proximidade das edificações em grandes cidades, como ocorre em São Paulo, facilitam a infestação por cupins subterrâneos, que estão presentes em árvores de praças e jardins e em grandes parques” (LELIS, 1999, apud ELEOTÉRIO, 2000). Lelis (2000) cita ainda que o tratamento mais usual consiste na aplicação de uma solução inseticida por pincelamento ou pulverização na superfície da madeira e por injeção nos orifícios. É um tratamento que é usado tanto como preventivo como curativo; contudo, quando utilizado como curativo o

tratamento é mais limitado e questionável quando se trata de infestação por brocas de madeira.

Podem ser utilizados ainda gases tóxicos como tratamento curativo, de forma que os insetos sejam eliminados e evitando que estes infestem outras madeiras no local (LELIS, 2000).

7. DEGRADAÇÃO DA MADEIRA

Alguns estudos já foram realizados no Brasil com o intuito de avaliar a biodeterioração da madeira envolvendo desde a identificação dos biodeteriôgenos e de sua ação, bem como realizando uma análise das principais medidas preventivas e curativas que podem ser adotadas para impedir a degradação da madeira (Tabela 1).

Tabela 1: Alguns estudos sobre a biodeterioração e restauração da madeira

AUTOR (S)	Ano	Abordagem teórica
BRANZOLIN, S.; <i>et al.</i>	?	Este trabalho apresenta o diagnóstico realizado no Museu de Arte Sacra de Salvador, BA, com relação à ocorrência de fungos e insetos xilófagos, as sugestões para o controle desses organismos, como por exemplo, a utilização de iscas para controle dos cupins-de-solo e arborícolas; e, discute o uso de novas tecnologias e produtos.
FARIA, J.	2002	O autor aborda a reabilitação de estruturas de madeira em edifícios históricos. É elaborado estudos de caso em que são analisadas as patologias, formas de controle e tratamento da madeira inserida em edificação, não somente da estrutura como também do bem integrado (como um altar –mor).
NASCIMENTO, Claudia B. do; CINCOTTO, Maria A.	2003	As autoras fazem um estudo de caso sobre a influência do ataque fúngico de ripas de Juçara em argamassa de estuque. O objetivo do estudo é identificar a deterioração por fungos das ripas de suporte do estuque e a seus efeitos sobre a argamassa junto às ripas deterioradas.
MIOTTO & DIAS	2006	Neste trabalho apresenta-se o estado da arte do uso de fibras como reforço estrutural e das estruturas mistas de madeira-concreto.
VALLE & BRITES	2006	Este trabalho apresenta uma aplicação da técnica experimental de perfuração controlada como ferramenta auxiliar na estimativa do estado de

		deterioração de peças antigas de madeira. A inspeção visual é sempre necessária, mas às vezes não conclusiva. Nestes casos, o uso de uma técnica complementar contribui para uma melhor avaliação da seção residual da peça de madeira. Um método que possa ser aplicado de forma rápida, precisa e sem provocar danos na madeira é valioso instrumento no estudo de edifícios que se constituem patrimônio histórico a ser preservado. Entre as técnicas não-destrutivas, que podem ser aplicadas na estimação das características mecânica da madeira e de seu estado de integridade, está o método de perfuração controlada.
CAMEIRA LOPES, M.; FARIA, J. A.	2009	Tipificação de soluções de reabilitação de estruturas de madeira em coberturas de edifícios antigos. O trabalho residiu na reabilitação de estruturas de madeira de coberturas de edifícios antigos e teve como objetivo produzir uma sistematização do conhecimento do domínio estudado, envolvendo as técnicas e tecnologias de reabilitação disponíveis. O principal resultado é a concretização de um checklist de problemas e soluções tipo para estruturas de madeira em coberturas de edifícios antigos.
MONTEIRO, M. B. <i>et al.</i>	2009	O tema abordado é a Biodeterioração da madeira no patrimônio histórico, a importância do diagnóstico para restauro. Este resumo toma como exemplo um dos trabalhos realizados pelo IPT no madeiramento estrutural de ginásio poliesportivo situado dentro do complexo do Estádio Municipal "Paulo Machado de Carvalho", no Pacaembu, São Paulo e pretende comentar a importância do correto diagnóstico dos problemas de biodeterioração na orientação dos trabalhos de restauro.
MARTINS & ROSSIGNOLO	2010	O objetivo desta comunicação é analisar estudos de casos encontrados na literatura que discutem as deteriorações em madeira de edificações históricas enfocando técnicas não-destrutivas como o ultrassom uma vez que o uso da propagação de ondas ultrassônicas como uma técnica de avaliação não destrutiva, mostra-se como um método viável para a conservação e prevenção de construções históricas.
ANDREACCI ,Fernando e JÚNIOR, João Carlos Ferreira de Melo	2011	Este estudo objetivou identificar taxonomicamente e estabelecer relações etnobotânicas sobre as espécies vegetais utilizadas na construção da igreja Nossa Senhora da Conceição, datada de 1876 e localizada no distrito de Matozinhos, estado de Minas Gerais. A identificação taxonômica das espécies baseou-se na caracterização anatômica

	das amostras de lenho obtidas das estruturas arquitetônicas que compõem a igreja e comparação com material lenhoso de referência coletado em formações vegetacionais próximas, além de consultas bibliográficas.
--	--

8. CONCLUSÃO

A produção artística e arquitetônica em Minas Gerais pode contar com a ocorrência de madeira em sua composição e estrutura, provenientes da influência não só portuguesa, como também de outros modelos europeus. Este fator vem também da facilidade e acesso que se tinha, e ainda se tem, a esse material para utilização em edificação.

Tendo em vista o clima tropical do Brasil (elevado teor de umidade) a madeira é mais susceptível ao ataque de xilófagos, que a fragiliza e degrada.

Geralmente, o tempo que se tem para executar uma obra de restauração no Brasil é muito curto. Devem ser considerados, antes de iniciar o tratamento:

- O xilófago que será combatido;
- a composição química do produto a ser utilizado (que deve ser estável, compatível, reversível);
- se a madeira que vai receber tratamento possui alguma decoração artística (que neste caso exige ainda mais cuidado);
- o tempo que se investirá na imunização (o método não poderá ser muito demorado para que se cumpra o prazo de entrega de todos os procedimentos da restauração do edifício);
- o investimento financeiro com o procedimento.

Levando esses fatores em consideração, principalmente o tempo que se investirá no procedimento, cada caso vai pedir um tratamento diferenciado. O ideal é que o procedimento seja não destrutivo/agressivo (química e fisicamente) ao material original. Nem sempre isso é possível visto que, para eliminar os xilófagos, em alguns casos devem ser injetadas quantidades grandes de um imunizante que deixará resíduo químico para que se tenha uma garantia (variando de produto e método escolhido) de alguns anos de proteção da madeira.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREACCI, Fernando; JÚNIOR, João Carlos F. de M. *Madeiras históricas do barroco mineiro: interfaces entre o patrimônio cultural material e a anatomia da madeira*. In: *Rodriguésia* 62 (2), p. 241-251. 2011

BRAZOLIN, Sérgio; LELIS, Antônio Tadeu de. *O problema de fungos e insetos xilófagos no museu de arte sacra de Salvador – B.A.* 2001.

BRITO, Maria da Conceição Fernandes. *Noções básicas sobre conservação de bens culturais*. Fundação de Arte de Ouro Preto (FAOP). 1995.

BONTURI, D. A. *O cupim nas instalações elétricas*. In.: FONTES, L. R. & BERTI FILHO, E. (Eds.). *Cupins: O desafio do conhecimento*. Piracicaba: FEALQ, 1998.p. 99-108.

BURGUER, Luiza M.; RICHTER, Hans Georg. *Anatomia da Madeira*. Nobel. 1991.

CAMARGOS, José Arlete Alves. *Catálogo de árvores no Brasil*. Brasília: LPF/IBAMA,2001.

CANEVA, G; NUGARI, M.P.; SALVADORI, O. *La Biología em la restauración*. Artes y Restauración. Cultura – IAPH. 2000.

COSTA, Arlindo. *Coletâneas de Anatomia da Madeira*. 2001

CRUZ, Helena. *Patologia, Avaliação e Conservação de estruturas em madeira*. In: II Curso livre internacional de patrimônio. Associação Portuguesa dos Municípios com centro histórico; Forum UNESCO Portugal. Santarem, 2001.

ELEOTÉRIO, Eliane S. da R.. *Levantamento e Identificação de Cupins (Insecta: Isoptera) em área urbana de Piracicaba-SP*. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ da USP orientada por Evôneo Berti Filho.Piracicaba, SP. 2000.

FARIA, J. *Reabilitação de Estruturas de Madeira em Edifícios Históricos*. In:

Patrimônio. Estudos, nº 3, p. 8-13, 2002.

FOELKEL, C. E. B. Qualidade da madeira: teoria. Belo Oriente, s. ed. 1977.

GALVÃO, Antônio P. M.; MAGALHÃES, Washington L. E.; MATTOS, Patrícia P. de. *Processos práticos para preservar a madeira*. Colombo PR: Embrapa Florestas, 2004.

GONZAGA, Luiz A. *Madeira: Uso e Conservação. Cadernos Técnicos do Programa Monumenta*. Brasília: Programa Monumenta, 2006.

GUERRA, Fernanda Lamego; PERES, Rosilena Martins. *Biodeterioração em Edificação Histórica*. Estudo do Ataque de Fungos Filamentosos. In: Anais do XIII ENPOS, 2012.

KLOK, Umberto; MUÑIZ, Graciela I. B; HERNANDEZ, José A.; ANDRADE, Alan S. *Química da Madeira*. Universidade Federal do Paraná - Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 3ª edição revisada. 2005.

LELIS, A. T. *Insetos Deterioradores de Madeira no Meio Urbano*. In: Anais do 1º simpósio do Cone Sul sobre Manejo de Pragas e Doenças de *Pinus*. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. V. XIII, nº 33. 2000. p. 81-89.

LOPES, M. C.; FARIA, J. A. *Tipificação de soluções de reabilitação de estruturas de madeira em coberturas de edifícios antigos*. In: PATORREB2009, 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação dos Edifícios. FEUP, Porto, v. 1, p. 403-408. 2009.

MARTINS, Sandra C. F.; ROSSIGNOLO, João A. *Deterioração em madeiras de Patrimônio Histórico: técnicas não destrutivas*. In: Complexus: Engenharia, arquitetura e design. Ano 01, nº 02, p. 128-142. 2010.

MACHADO, G. O.; CALIL JUNIOR, C.; POLITO, W.; PAWLICKA, A. *Preservante natural de madeira para uso na construção civil: óleo de neem*. Revista Minerva, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 1-8, jan./jun. 2006.

MENDES, Alfredo de S., ALVES, Marcus V. da S. *A degradação da madeira e sua preservação*. Brasília, IBDF/DPq-LPF. 1988

MEDEIROS, João de Deus. *Floresta com Araucárias*. Rio Sul, SC: Apremavi, 2004.

MINERVA. *Laboratório de estruturas*, Universidade de São Paulo (USP). P. 1.

MIOTTO, José L; DIAS, Antônio A. *Reforço e recuperação de estruturas de madeira*. In: Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 27, nº 2, p. 163-174. 2006.

MONTEIRO, Maria B. B.; LOPEZ, Gonzalo A. C.; YOJO, Takashi. *Biodeterioração da madeira no patrimônio histórico - a importância do diagnóstico para o restauro*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. In: Revista CPC, São Paulo, nº 7, p. 183-187. 2009.

MORESCHI, João Carlos. *Biodegradação da Madeira*. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR. 3ª Edição. 2011.

PORTO, Aline L. G. ; DELGADO, Gisele M. ; MELO, Francisca J. F. de; DEMARZO, Mauro A.; CARVALHO, E. O. E. *Novos métodos de combate a cupins aplicados em edificações históricas*. In: VIII Encontro Latino Americano de Pós-graduação. 2008.

RODRIGUES, Romana M. S. C. O. *Construções Antigas de Madeira: experiência de obra e reforço estrutural*. Dissertação apresentada à Universidade do Minho. Orientador Prof. Dr. Paulo Barbosa Lourenço. 2004

SANTINI, E. J. *Biodeterioração e preservação da madeira*. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1988. p.p. 125.

SILVA, Glauco Brentan da. *Madeira*. Universidade Estadual de Maringá. Centro de tecnologia Departamento de Engenharia Civil Construção de Edifícios II. Profa. Dra. Luci Mercedes Demori. 2009.

SILVA, José de Castro. *Deterioração, Durabilidade e Preservação de madeiras*. DEF/UFV- 2005

SILVA, Maria E. C. M. *Apontamentos de Tecnologia dos Produtos Florestais – Composição Química da Madeira-*. UTAD. 2010.

SU, N-Y.; SCHEFFRAHN, R. H. *Economically important termites in the United States an their control. Sociobiology*, v.17, n.1, p.77-94, 1990.