

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARINA SANTOS BAHIA

**BIODETERIORAÇÃO E A DURABILIDADE DA MADEIRA:
ESTUDO DE ASPECTOS CONSTRUTIVOS EM CAMPO MOURÃO-PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

MARINA SANTOS BAHIA

**BIODETERIORAÇÃO E A DURABILIDADE DA MADEIRA:
ESTUDO DE ASPECTOS CONSTRUTIVOS EM CAMPO MOURÃO-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior de Engenharia Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a Dr^a Fabiana Goia Rosa de Oliveira

CAMPO MOURÃO

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**Biodeterioração e a Durabilidade da Madeira: Estudo de Aspectos Construtivos em Campo
Mourão-PR**

por

Marina Santos Bahia

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10:00 horas do dia 03 de setembro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jorge Goes

(UTFPR)

Prof^a. Esp. Sérgio Braga

(UTFPR)

Prof. Dr^a. Fabiana Goia R. de Oliveira

(UTFPR)

Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Marcelo Guelbert

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelos anos de aprendizagem vividos aqui, e em especial a todos os professores com quem pude conviver e me inspirar como pessoa e profissional.

A minha orientadora, Professora Dra. Fabiana Goia R. de Oliveira pela dedicação e carinho com que tratou a mim e ao meu trabalho, agradeço profundamente pelas palavras de incentivo, pela paciência, pelos conhecimentos transmitidos e principalmente pelo exemplo de mulher e engenheira.

Aos meus pais, Luiz Gonzaga Bahia e Maria de Lourdes dos Santos Bahia que sempre confiaram no meu potencial, que acreditaram e nunca se hesitarão em qualquer decisão minha, sempre proporcionando condições para que eu pudesse alcançar meus sonhos, pelo carinho, amor e compreensão, por todos os conselhos, e principalmente pelos valores e pela educação que recebi.

Aos meus irmãos João Pedro Santos Bahia e Domitila Santos Bahia, pelo companheirismo de sempre, pelo exemplo de bons alunos e bons profissionais que vocês me deram, é uma honra tê-los como meus irmãos. Em especial quero agradecer a minha irmã Domitila, pela contribuição direta na execução desse trabalho, pela paciência, compreensão e a toda a ajuda que me deu, sem você não teria conseguido.

A todos os meus amigos que me ajudaram ao longo desses cinco anos de faculdade, particularmente aos que contribuíram de forma direta ou indireta no desenvolvimento desse trabalho, a amizade de vocês foi fundamental para a realização do sonho de ser engenheira.

Muito Obrigada!

RESUMO

BAHIA, M.S. **Biodeterioração e a Durabilidade da Madeira: Estudo de Aspectos Construtivos em Campo Mourão-PR.2015.** 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

Tendo em vista o atual cenário da construção civil e o potencial produtivo de madeira no Brasil, o estudo foi realizado com a finalidade de verificar principalmente as condições de exposição da madeira e como isso interfere em sua durabilidade enquanto material para construção, verificando-se os efeitos da biodeterioração e relacionando-se com os aspectos construtivos empregados em cada obra. Após cinco visitas técnicas, realizadas em locais distintos da cidade de Campo Mourão, os resultados indicaram que grande parte da deterioração ocorrida em peças de madeira é ocasionada por falhas de execução e/ou projeto, que a umidade é o principal fator indutor da biodeterioração e que a manutenção adequada poderia propiciar uma vida útil maior da construção em madeira.

Palavras-chave: Biodeterioração. Madeira. Classes de Risco. Agentes Degradadores.

ABSTRACT

BAHIA, M.S. Biodeterioração e a Durabilidade da Madeira: Estudo de Aspectos Construtivos em Campo Mourão-PR.2015. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

Given the current scenario of the construction and timber production potential in Brazil, the study was conducted in order to mainly check the timber exposure conditions and how it interferes with their durability as a material for construction, verifying the effects of biodeterioration and relating with the constructive aspects employees in each work. After five technical visits carried out in different places of the city of Campo Mourao, osresultados indicated that much of the damage occurred in wooden parts are caused by implementation failures and / or project, that moisture is the main factor that induces biodeterioration and proper maintenance could provide a longer service life of wood construction.

Keywords: Biodeterioration. Wood. Risk classes. Degrading agents.

LISTA DE IMAGENS

Figura 1. Isocurvas de teor de umidade.....	25
Figura 2. Mapas do Brasil para subsidio em avaliação de risco de biodeterioração: (a) Mapa de variação de umidade relativa do ar anual no Brasil.....	26
Figura 3. Exemplificação de um projeto preliminar para avaliação das áreas de risco de biodeterioração, em uma inspeção de edificação residencial, para determinação de indicativos das Classes de Risco, como proposta de utilização em Técnica Inspeção Visual Geral.....	29
Figura 4. Avaliações externas em edificações: indícios de risco de biodeteriorações.....	51
Figura 5. Regiões de risco de biodeteriorações em edificações de madeira.....	52
Figura 6. Representação esquemática dos pontos considerados mais susceptíveis – sistema pilar-viga.....	54
Figura 7. Esquema geral de uma fundação em sapata corrida e a ligação com as paredes do edifício.....	55
Figura 8. (a) Detalhe da abertura para a ventilação de áreas enclausuradas. (b) Espaçamento mínimo necessário para a proteção da madeira e para inspeção.....	56
Figura 9. Exemplo de barreira física e química contra insetos.....	56
Figura 10. Exemplo de detalhamento da fixação de pilares de madeira.....	57
Figura 11. Detalhe de medida preventiva para a garantia da durabilidade: execução de calçada perimetral.....	58
Figura 12. Cuidados relacionados à descontinuidade dos materiais de recobrimento externo: utilização de mesmo material, mas com tipologia e sentido de fixação diferenciado.....	58
Figura 13. Proteção da madeira utilizada nas paredes pela forma da edificação.....	59
Figura 14. Desenho esquemático da possibilidade de ventilação dos desvãos dos telhados....	60
Figura 15: Poste de iluminação em contato com o solo.....	69
Figura 16: Rodapé externo em madeira.....	70
Figura 17: Rodapé interno e base de pilar em madeira de demolição.....	71
Figura 18: Detalhe do contato das peças de madeira com o solo.....	72
Figura 19: Detalhe dos pequenos vãos entre as peças de madeira.....	73
Figura 20: Peças de madeira reaproveitadas com defeitos.....	73
Figura 21: Peças de madeira com manchas nas regiões que há pregos.....	75

Figura 22: Falhas de emendas.....	76
Figura 23: Pilar com rachaduras longitudinais.....	77
Figura 24: Forro da cobertura externa.....	78
Figura 25: Falha do telhado.....	78
Figura 26: Toras de madeira pintadas.....	79
Figura 27: Detalhe das chapas metálicas.....	79
Figura 28: Detalhe da proliferação de fungos em pilar de madeira.....	80
Figura 29: Pilares em madeira roliça em ambiente úmido.....	81
Figura 30: Detalhe da união de duas peças de madeira roliça.....	82
Figura 31: Detalhes de ataques biológicos em uma ponte de madeira.....	83
Figura 32: Pilares de madeira com base de concreto.....	84
Figura 33: Mirante do Parque do lago.....	85
Figura 34: Fenda em peça de madeira roliça.....	85
Figura 35: Passarela feita toda em madeira.....	86
Figura 36: Rachadura em pilar.....	87
Figura 37: Peça de madeira com anel metálico.....	88
Figura 38: Rampa de acesso feita em madeira.....	88
Figura 39: Pergolado de madeira.....	89
Figura 40: Tora de madeira reaproveitada.....	90
Figura 41: Estrutura da cobertura de um quiosque.....	91
Figura 42: Escada em madeira com detalhe da deterioração.....	92
Figura 43: Detalhe lateral da escada.....	93
Figura 44: Apoios da passarela.....	94
Figura 45: Cobertura interna em madeira.....	94
Figura 46: Cobertura interna do sobrado.....	96
Figura 47: Guarda-corpo e piso de madeira.....	96
Figura 48: Entalhe do apoio.....	97
Figura 49: Interior da residência em madeira.....	98
Figura 50: Cobertura externa.....	98

Figura 51: Fachada frontal de residência em madeira.....	99
Figura 52: Detalhe da base de um pilarete, com indícios de deterioração.....	100
Figura 53: Detalhe construtivo na parte inferior da parede.....	100
Figura 54: comparação entre dois portões de madeira.....	101
Figura 55: Ação da biodeterioração em portão de madeira.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Teor de umidade de equilíbrio da madeira, nas principais capitais do Brasil.....	19
Tabela 02: Provável expectativa de Vida útil para durabilidade natural.....	23
Tabela 03: Classes de durabilidade natural.....	23
Tabela 04: Classes de risco.....	27
Tabela 05: Guia de seleção para avaliação de Classe de Risco.....	30
Tabela 06: Principais tipos de agentes de deterioração da madeira.....	32
Tabela 07: Causas e efeitos do intemperismo.....	36
Tabela 08: Proposta das Categorias de uso para avaliação em mapeamento de áreas em Classes de Potencial de Risco de Biodeterioração, para aplicação em Inspeções Preliminares pela Técnica de Inspeção Visual Geral de elementos estruturais de madeira, em função das exposições de agressividades ambientais em condições de uso.....	41
Tabela 09: Classes de Risco: Grupos de agentes de biodeterioração que podem atacar a madeira, conforme o local e as condições que ela está empregada.....	43
Tabela 10: Agentes biológicos em função das situações de risco de biodeterioração da madeira.....	44
Tabela 11: Características de sinais visuais de manifestações patológicas por agentes bióticos, com Potencial de Risco de Biodeterioração.....	45
Tabela 12: Medidas visando a durabilidade das madeiras.....	50
Tabela 13: Principais defeitos da madeira originados no processamento.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 JUSTIFICATIVA	13
4 REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1 INTRODUÇÃO.....	15
4.2 MADEIRA: ESTRUTURA E PROPRIEDADES.....	16
4.2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS MADEIRAS	17
4.2.2 ESTRUTURA E CRESCIMENTO.....	17
4.2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	18
4.2.3.1 ANISOTROPIA	18
4.2.3.2 UMIDADE	18
4.2.3.3 RETRATILIDADE	20
4.2.3.4 DENSIDADE	20
4.2.3.5 DEFEITOS DA MADEIRA.....	21
4.3 DURABILIDADE DA MADEIRA	21
4.3.1 CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO.....	24
4.4 AGENTES DEGRADADORES DA MADEIRA	32
4.4.1 DESGASTE MECÂNICO	34
4.4.2 DESGASTE FÍSICO	35
4.4.3 DESGASTE QUÍMICO	36
4.4.4 DESGASTE BIOLÓGICO.....	37
4.4.5 EFEITO DA CORROSÃO NA MADEIRA.....	44
4.5 ASPECTOS LIGADOS AO PROJETO E EXECUÇÃO.....	48
4.5.1 CLASSIFICAÇÃO DA MADEIRA SEGUNDO SEUS DEFEITOS.....	52
4.5.2 DETALHES CONSTRUTIVOS.....	53
4.5.2.1 FUNDAÇÕES.....	54
4.5.2.2 SUPERESTRUTURA.....	56
4.5.2.3 VEDAÇÕES VERTICAIS.....	57
4.5.2.4 COBERTURA.....	59
4.6 USO DE TRATAMENTO PRESERVATIVO.....	60

4.6.1 TRATAMENTO PRESERVATIVO IN LOCO.....	63
4.6.2 TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE.....	64
4.6.3 FUMIGANTES.....	64
5 MATERIAIS E MÉTODOS	65
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
7 CONCLUSÕES.....	101
8 REFERÊNCIAS.....	102

1 INTRODUÇÃO

Entre os diversos materiais destinados à construção civil, a madeira reúne qualidades de exceção que a elegem, sob muitos aspectos, sobretudo sob o critério da sustentabilidade, como material construtivo de elevado desempenho. Entretanto, como todo material orgânico, ela deve receber análise prévia das condições em que será aplicada, para identificação da necessidade de tratamento preservativo específico, buscando-se obter o melhor resultado quanto à durabilidade e resistência aos agentes biodeterioradores da madeira, como fungos e insetos xilófagos e perfuradores marinhos. (ABNT/CB-02 NBR 7190/2011)

A madeira se consolida como material de grande aposta no mercado atual e futuro da construção civil. O conhecimento e o aperfeiçoamento das técnicas construtivas desse material ganham valor e são necessários cada vez mais engenheiros que dominem essas técnicas, assim como inovem os métodos construtivos.

A durabilidade da madeira é, enquanto material de construção, propriedade importante da mesma. Por esse motivo, o foco principal desse trabalho é mostrar as limitações da madeira e as diversas formas de contorná-las. Inúmeras são as medidas que podem ser tomadas para a garantia de uma vida útil prolongada das construções de madeira, como os métodos construtivos, preservativos entre outros.

Qualquer que seja o sistema construtivo adotado, a durabilidade e a qualidade da edificação é motivo de debate no meio técnico. Tal interesse é justificado pela maior conscientização do usuário quanto aos seus direitos reafirmados ao adquirirem um produto, recentemente com o advento do Código de Defesa do Consumidor.

Com um mercado tão exigente, em um país rico em recursos naturais, com uma gama imensa de espécies de árvores, e um déficit habitacional elevado, uma alternativa viável seria a utilização da madeira como material de construção de maneira mais ampla. Dentre os principais motivos que levam a essa sugestão, é possível citar: rapidez na construção, material abundante, renovável e limpo, flexibilidade de projetos, economicamente viável, e adequação em qualquer clima.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse trabalho é relatar as formas de biodegradação da madeira e seus principais agentes. Além disso, pretende-se analisar a durabilidade da madeira através de técnicas construtivas, detalhes de projetos, correta execução e a prevenção contra a biodeterioração da madeira.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar propriedades físicas da madeira e sua relação com a biodeterioração.
- Realizar estudo de campo, por meio de visitas, para verificar as condições de exposição da madeira.
- Relacionar as condições verificadas com aspectos ligados ao projeto e a execução em madeira.

3 JUSTIFICATIVA

Diante de uma sociedade que enfrenta problemas com a falta de recursos energéticos, altos níveis de poluição e escassez de matéria prima, a sustentabilidade torna-se fundamental em muitos setores, inclusive na construção civil.

Qualquer observador, mesmo o maior leigo em construção civil, pode claramente constatar quesitos de insustentabilidade, pois o problema salta aos olhos de todos que circulam pelas ruas (CORRÊA, 2009).

A construção civil é responsável pelo consumo de 40% dos recursos naturais, de 50% da energia elétrica, de 55% de toda madeira produzida não certificada, por 67% da massa total de resíduos sólidos urbanos e 50% do volume total de resíduos produzidos (LIMA, 2013). Com um déficit habitacional elevado, o país ainda recicla muito pouco da quantidade de resíduos que produz na construção civil. Segundo o Ministério das Cidades (2010), estima-se que os resíduos de construção e demolição representem de 51% à 70% dos sólidos urbanos que, se mal gerenciados, degradam o meio ambiente. (CÂMARA DOS DEPUTADOS 2010).

A construção civil tem forte relação com o alcance do desenvolvimento sustentável seja em escala local, regional, nacional ou global. É a indústria que mais causa impactos ambientais, levando-se em conta toda a sua macro indústria, da extração de recursos até a disposição final de seus produtos (SILVA, 2003).

O cenário da construção civil no Brasil mostra uma indústria forte, essencial ao desenvolvimento do país, grande geradora de empregos e contribuinte para o PIB nacional. Mas que não investe em novas tecnologias e que degrada muito o meio ambiente.

A aplicação de novos materiais e de novos métodos construtivos são as alternativas para uma construção mais sustentável. A madeira, apesar de ser utilizada há muito tempo na construção, ainda não é muito requisitada nas obras, alguns dos motivos para que este material abundante, renovável e de baixo consumo energético na sua industrialização não ser totalmente aproveitado é o preconceito por aparentar ser um material frágil, o preço que geralmente é alto, e a desconfiança em relação à sua durabilidade.

Por tais motivos, a madeira deveria ser mais estudada e assim comprovada sua eficiência enquanto material para diversas finalidades na construção civil. Principalmente por ser alternativa segura de sustentabilidade, reciclável, boa isolante térmica e acústica e ter boa trabalhabilidade.

A influência social e econômica da madeira, na forma de matéria-prima, é bastante significativa. É uma grande fonte geradora de empregos, além disso, sua atividade está vinculada ao atendimento de necessidades básicas como habitação, saúde, educação, infraestrutura e interação social. No Brasil e na Europa ela representa 11% do PIB (SILVA, 2003).

O estudo da biodeterioração e da durabilidade se faz importante não somente pela importância do próprio material, mas também pela exigência de mercado de construções com uma vida útil longa e garantida. Neste contexto, o presente trabalho relaciona-se com o conhecimento de técnicas eficazes no combate a biodeterioração da madeira e para a melhora de sua durabilidade.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 INTRODUÇÃO

A madeira, após muitos anos de exploração descontrolada e escassez de pesquisas na área, hoje se mostra, como um excelente material para construção, comprovada sua relação resistência\peso superior a outros materiais altamente empregados na construção civil.

Além do bom isolamento térmico e acústico e principalmente por ser uma alternativa para a sustentabilidade da indústria da construção civil, que é uma das que mais poluem o meio ambiente e interferem de forma negativa na natureza sobretudo pela fabricação de cimento.

De fonte renovável, a madeira tem um papel fundamental no desenvolvimento sustentável, como material totalmente natural, a madeira necessita de cuidados especiais e de manutenção. Por outro lado a madeira está sujeita a maiores defeitos em suas peças devido a heterogeneidade e anisotropia, além de defeitos de ordem natural como os nós. Atualmente há um controle rígido na extração da madeira e o reflorestamento ajuda a manter um padrão nas peças. A indústria da madeira também evoluiu bastante e no mercado vários produtos de madeira com ótima aceitação como os compensados e as madeiras laminadas coladas.

Uma característica importante da madeira é a degradação biológica, por ser um material natural, é comum acontecer ataques de microrganismos, insetos e xilófagos marinhos, mas com um tratamento preventivo e com a correta utilização a madeira supera-se esses empasses tornando-se muito atrativa para a indústria da construção brasileira, que em razão da extensão territorial do país e dos diferentes climas, tem uma imensa variedade de espécies.

De acordo com o estudo de Muhlbauer & Razeira (2001), no Brasil o emprego da madeira não começou de forma apreciada, herdou-se a preferência pelas tradicionais construções em alvenaria, dos nossos colonizadores portugueses. As técnicas construtivas inadequadas para o uso desse material fez com que as habitações de madeira virassem sinônimo de sub-habitação.

Durante a colonização até a época da República a madeira foi utilizada para pequenas construções denominadas choupanas, reflexo do desinteresse português nas colônias da América que inicialmente não mostrava tanta riqueza como as colônias do oriente (MUHLBAUER e RAZEIRA, 2001). Com a vinda da família real portuguesa e movimentos artísticos da época a madeira ganhou destaque nos ornamentos e acabamentos empregando requinte ao material, mas continuou sendo usada inadequadamente para pequenas habitações de baixo nível.

Em meados do século XIX, a madeira começou a ser utilizada como elemento estrutural com grande força devido a vinda dos colonos europeus para a região sul do país. Os alemães trouxeram seu sistema construtivo ‘enxaimel’, estrutura autônoma de madeira vedadas com alvenaria de tijolos, já os italianos e poloneses usavam a madeira como elemento estrutural e de vedação. O pior problema da utilização da madeira no passado era o desperdício, usava-se madeiras nobres para fins desnecessários, a falta de técnica e de conhecimento das madeiras do Brasil fizeram com que estruturas de madeira tivessem pouca durabilidade.

Entretanto, em 1905, na cidade de Curitiba, o governo proibiu a construção de casas de madeira nas zonas centrais da cidade. Este fato contribuiu para gerar no meio técnico brasileiro, o preconceito contra as estruturas em madeira. (MEIRELLES, 2005)

Hoje em dia o uso da madeira na construção civil brasileira se dá de duas formas: provisória e definitiva. O uso provisório são as fôrmas para concreto, escoras, andaimes e de auxílio para a construção, e o uso definitivo são em geral na grande maioria estruturas de cobertura, nas esquadrias, nos forros e pisos. São raras as construções, feitas totalmente em madeira ou com estrutura em madeira, não por total preconceito por edificações de madeira, mas pela falta de conhecimento, de mão de obra qualificada e de recursos uma vez que hoje o custo da madeira é alto.

4.2 MADEIRA: ESTRUTURA E PROPRIEDADES

Segundo Hellmeister (1973) apud Brito (2014) a madeira não se deteriora por si só, como resultado de envelhecimento. Cruz (2001) complementa que a idade da madeira de uma determinada estrutura, por si só não gera diminuição nas propriedades e características da

madeira. No entanto, a deterioração da madeira é um processo que altera desfavoravelmente as suas propriedades (CALIL JR. et al, 2006).

4.2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS MADEIRAS

Segundo Pfeil (2003) as principais madeiras se dividem em duas categorias:

Madeiras duras: São as dicotiledôneas da classe Angiosperma, tem o crescimento lento e melhor qualidade e podem receber o nome de madeira de lei. Exemplos: peroba, ipê, aroeira, carvalho etc.

Madeiras macias: São as coníferas da classe Gimnosperma de crescimento rápido. Exemplos: pinheiro-do-Paraná, pinheiro-bravo etc.

Essas categorias se diferenciam pela estrutura celular dos troncos, formato das folhas e não unicamente pela resistência.

4.2.2 ESTRUTURA E CRESCIMENTO

A madeira de construção vem de árvores do tipo exogênico, crescimento pela adição de camadas externas sob a casca. As partes que compõe são, segundo Pfeil (2003):

Casca: Camada externa morta, a espessura pode ser variável de acordo com a idade e a espécie da árvore. Também compõe a casca uma fina camada de matéria viva responsável de conduzir alimento para o crescimento.

Alburno ou branco: Camada que conduz a seiva da raiz para as folhas a espessura fica em torno de três a cinco centímetros.

Cerne: São as células do alburno que se tornaram inativas devido ao crescimento, sua coloração é mais escura e sua finalidade é apenas de sustentação.

Medula: Centro do tronco onde fica o primeiro crescimento da madeira, é uma parte bem macia.

Portanto a madeira de melhor qualidade é extraída do cerne pois é mais durável, porém a madeira de alburno por ser mais higroscópica é mais fácil de ser tratada e aceita melhor a penetração de agentes protetores.

A composição química da madeira é basicamente por substâncias orgânicas. Uma aproximação aceitável seria de 50% de carbono, 44% de oxigênio e 6% de hidrogênio, o composto orgânico predominante é a celulose, mas a hemicelulose e a lignina também são muito importantes, a lignina inclusive provê rigidez e resistência a compressão às paredes das fibras.

4.2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

4.2.3.1 ANISOTROPIA

Diferença das propriedades entre as direções radial, tangencial e longitudinal. Em cada direção, a madeira tem comportamento diferente.

4.2.3.2 UMIDADE

Quando a madeira está verde ou recém cortada, sua umidade é muito variável, podendo atingir valores de 30% a 130%, dependendo se for madeira macia ou não e a estação do ano em que foi cortada.

A madeira tem sua umidade natural e esta pode estar presente de duas formas, água no interior da cavidade das células ocas e água absorvida nas paredes das fibras.

No processo de secagem da madeira a primeira etapa consiste na evaporação da água que está contida no interior da cavidade das células, atingindo assim o ponto de saturação das fibras, ou seja as paredes das células ainda contém água e estão saturadas, portanto a água do interior evaporou esse ponto corresponde em média 30% de umidade. Na sequência do processo a madeira ainda continua secando e entra em equilíbrio com o ambiente chamando-

se seca ao ar, e dessa forma varia com a umidade atmosférica os valores geralmente são em torno de 10% a 20% para uma umidade de 60% e 90% a 20°C de temperatura. No Brasil o valor padrão de umidade ideal é 12%.

A variação no teor de umidade na madeira além de favorecer ao ataque de agentes bióticos no processo de bioteterioração, também pode influenciar na deterioração da madeira por agentes abióticos.

Entre todas as condições desfavoráveis, o Teor de umidade é o principal responsável pelo desencadear dos fungos. Na Tabela 01 identificam-se as principais capitais brasileiras e suas respectivas temperaturas e o teor de umidade de equilíbrio da madeira.

Tabela 01: Teor de umidade de equilíbrio da madeira, nas principais capitais do Brasil.(Continua)

Cidade	Umidade Relativa do ar* (%)	Temperatura * (°C)	Teor de umidade de equilíbrio da madeira** (%)
Aracaju	78,2	26,0	15,2
Belém	86,5	26,0	18,4
Belo Horizonte	76,5	21,1	14,9
Brasília	67,6	21,2	12,5
Cuiabá	73,1	25,6	13,7
Curitiba	80,2	16,5	16,2
Florianópolis	82,2	20,3	16,8
Fortaleza	80,2	26,6	15,8
Goiânia	65,7	23,2	12,0
João Pessoa	80,6	26,1	15,9
Macapá	82,8	26,6	16,8
Maceió	79,0	24,8	15,5
Manaus	83,1	26,7	16,9

Porto Alegre	76,0	19,5	14,8
Porto Velho	84,8	25,1	17,7
Recife	81,2	25,5	16,2
Rio Branco	83,8	24,9	17,3
Rio de Janeiro	79,1	23,7	15,6
Salvador	79,5	25,2	15,6
Santos	79,9	21,3	15,9
São Luiz	78,4	26,1	15,2
São Paulo	78,4	19,3	15,5
Teresina	77,5	26,5	14,9
Vitória	81,1	24,2	16,2

Fontes: FERREIRA et al (2003) apud BRITO (2014) * Instituto Nacional de Meteorologia – INEMET **
Calculado de acordo com ASTM D 4933-91

4.2.3.3 RETRATILIDADE

É a propriedade que a madeira tem de, sob ação da umidade, variar suas dimensões originais, retraindo ou inchando. Entre 0% e o ponto de saturação 30% sendo que essa variação ocorre de forma aproximadamente linear. A retratilidade mais importante ocorre na direção tangencial onde a peça pode variar de 5% a 10%.

4.2.3.4 DENSIDADE

Segundo Hellmeister (1973), a densidade é a propriedade física mais significativa para caracterizar madeiras destinadas à construção civil ou à utilização na indústria de móveis. Cada espécie tem sua própria densidade, sendo que pode haver variação de árvores de mesma espécie. O que determina a densidade são características como o tamanho das células

a quantidade de raios e vasos e seus respectivos tamanhos, a espessura das paredes celulares e outras.

Outros fatores que podem interferir radicalmente na densidade da madeira são os depósitos químicos que ocorrem entre as células ou no seu interior, e a umidade.

Sendo assim, o padrão para determinar a densidade da madeira é feita com os corpos de prova com umidade em torno dos 12% (equilíbrio ao ar).

A grande importância de densidade é que juntamente com a umidade de impregnação são funções para a resistência da madeira.

4.2.3.5 DEFEITOS DA MADEIRA

Os defeitos ocorrem por ser tratar de um material natural, onde não existe um padrão de fabricação. Os mais comuns são:

Nós: São as imperfeições nos pontos do tronco que tinham galhos, e podem ser nós firmes ou soltos, os nós firmes são provenientes de galhos que estavam vivos no abate da árvore e os nós soltos de galhos mortos, os nós soltos podem se soltar durante a serragem da madeira formando orifícios na madeira. Qualquer nó pode prejudicar a resistência da madeira quanto a tração pois as fibras sofrem desvio de direção.

Fendas: Abertura na extremidade da peça produzida pela secagem mais rápida da superfície.

Gretas: Separação dos anéis anuais provocadas pelo crescimento lateral ou flexão devido ao vento.

Abaulamento: Encurvamento na direção da largura da peça.

Arqueadura: Encurvamento na direção do comprimento da peça.

Fibras reversas: Fibras não paralelas ao eixo da peça.

Esmoada: Canto arredondado.

4.3 DURABILIDADE

A durabilidade pode ser definida como a capacidade de se manter em serviço, por longo tempo, com as qualidades ou características originais, (BENEVENTE, 1995).

Segundo Silva (1997), a durabilidade é a capacidade de um produto manter seu desempenho acima de valores mínimos preestabelecidos, em consonância com os usuários, em condições previstas de uso.

A madeira apresenta diversas qualidades; razão de ser altamente utilizada não somente na construção civil. Porém este material tem algumas desvantagens naturais que comprometem sua durabilidade tais como: biodegradação, flamabilidade, degradação por radiação ultravioleta, ácidos ou bases, e variações dimensionais causadas pela alteração da umidade. Mas não se pode dizer se uma peça de madeira é durável ou não sem ser colocada em uso juntamente com as causas de degradação natural.

Alguns conceitos são estabelecidos para a garantia da durabilidade da madeira:

- a madeira deve estar sempre em condição ventilada;
- a madeira deve ser usada em condição seca, com umidade de equilíbrio do ar;
- as extremidades e saliências presentes na estrutura devem estar protegidas;
- as águas pluviais devem escoar rapidamente nos elementos estruturais;
- deve-se evitar o contato da madeira com o solo, pois ocorre ascensão da umidade por capilaridade.

Nem sempre é possível seguir todos estes conceitos, devido ao local de execução da obra, detalhes de projeto, e outros. O importante é verificar o grau de exposição e a relevância estrutural da peça.

Pode-se agir de três formas para manter a durabilidade da madeira nas construções: utilizar madeiras naturalmente mais resistentes, fazer uso de produtos químicos como: preservantes, ignífugos e acabamentos superficiais, e alterar quimicamente os componentes da madeira.

Para se garantir a durabilidade da madeira, necessita-se de uma classificação quanto às condições de uso que seja tão objetiva quanto possível, visando o conhecimento dos

tratamentos preventivos e execução de detalhes minuciosos de projeto, (BENEVENTE, 1995).

Os elementos: temperatura presente, fontes de umidade, contato ou distanciamento da madeira com o solo, presença de coberturas ou proteções nos elementos, entre outros, terão de ser considerados para a classificação de riscos e assim possibilitar medidas preventivas, aliando o uso de produtos químicos protetores para a garantia da durabilidade.

Na Tabela 02 compara-se a expectativa de Vida útil da madeira em contato com o solo e a expectativa de Vida útil com a madeira acima do solo. E na Tabela 03 exibe-se a definição de Classes de Durabilidade.

Tabela 02: Provável expectativa de Vida útil para durabilidade natural.

Classe de Risco	Provável expectativa de Vida útil de madeira em contato com o solo (anos)	Provável expectativa de Vida útil de madeira acima do solo (anos)
1	>25	>40
2	15 a 25	15 a 40
3	5 a 15	7 a 15
4	0 a 5	0 a 7

Fonte: AS 5604:2005 apud BRITO (2014)

Tabela 03: Classes de durabilidade natural. (continua)

Classe de Durabilidade	Definição
1	Peças de maiores durabilidades naturais das quais pode ser esperado resistir ao apodrecimento e ataque de térmitas por no mínimo 25 anos
2	Peças de alta durabilidade natural das quais pode ser esperado ter uma Vida útil entre 15 e 25

	anos
3	Peças de durabilidade moderada das quais pode ser esperada uma Vida útil de 8 e 25 anos
4	Peças de baixa durabilidade natural das quais possam durar entre 1 a 8 anos. Essas peças tem aproximadamente a mesma durabilidade de alburnos não tratados, as quais são considerados de Classe 4 independente da espécie.

Fonte: AS 1720.2:1990 apud BRITO (2014)

4.3.1 CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO

As condições de uso e exposição da madeira tem influência direta com a durabilidade deste material. É importante conhecer as classes de risco que cada elemento estrutural pertence, assim é possível adequar os projetos com detalhes construtivos que evitem maior exposição e determinar o tratamento mais apropriado.

É possível saber o *potencial de risco de biodeterioração*, levando em consideração informações do local, quando essas informações não estão disponíveis, pode-se obter conhecimentos sobre o *Potencial de risco de biodeterioração* por ataques de fungos com a correlação geográfica com base na variação média de precipitação e temperatura.

Locais onde a precipitação é menor que 640 mm por ano, ou com estações chuvosas normalmente curtas, o Potencial de Risco de Biodeterioração por apodrecimento é reduzido. No entanto a maior parte do território brasileiro o clima é tropical, com ocorrência de chuvas abundantes, e variações de temperatura que favorecem a biodiversidade. (BRITO, 2014)

O teor de umidade é um importante condicionante para o *Potencial de Risco de Biodeterioração*, sendo assim Machado et al (2009) expõem as isocurvas de equilíbrio higrotérmico, Figura 01, para cálculos de estimativas do teor de umidade da madeira.

CURVAS DE EQUILÍBRIO HIGROTÉRMICO DA MADEIRA

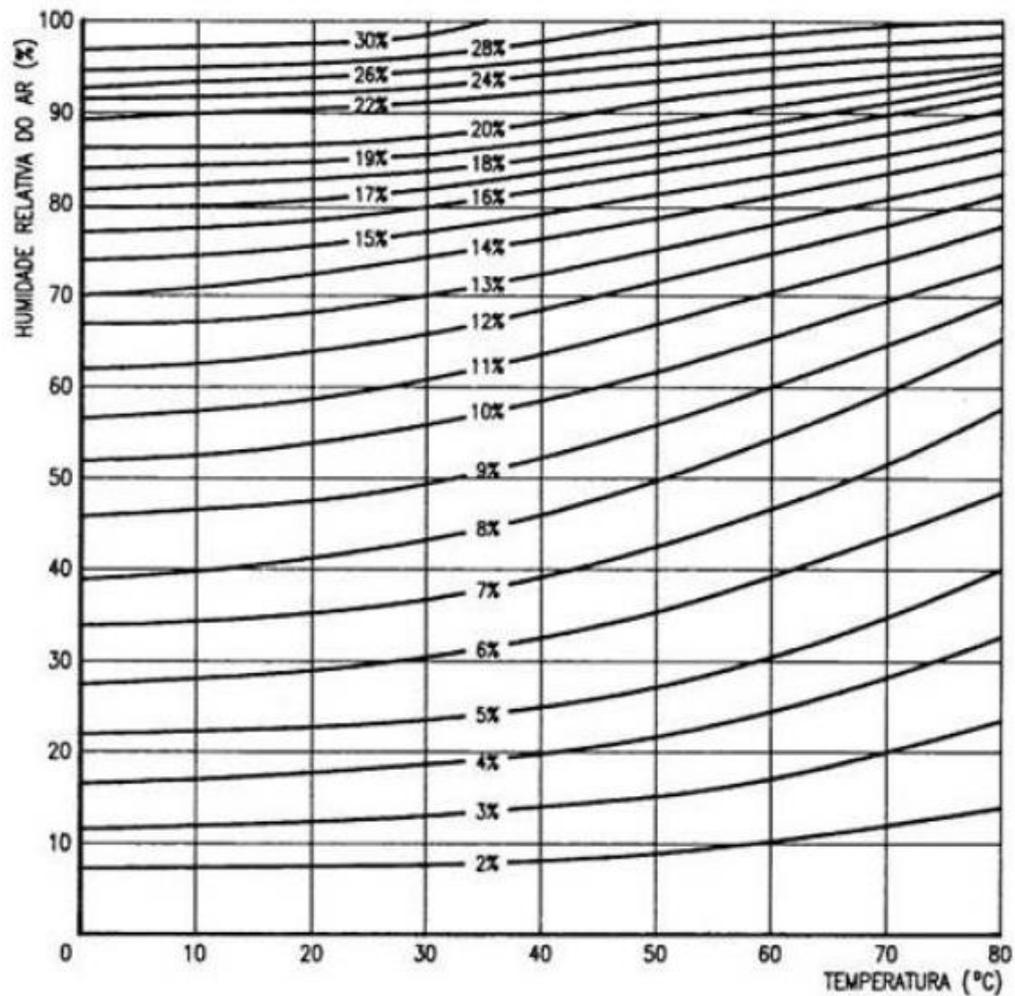


Figura 01. Isocurvas de teor de umidade Fonte: MACHADO et al (2009)

Bonamini (1995) apud Brito (2014) recomenda que se deva avaliar o *Potencial de Risco de Biodeterioração*, e indicar em toda a estrutura em análise, em função das *Classes de Risco*, previstas no Eurocode EC 5.

Na Figura 02, apresentam-se as áreas mais afetadas pelos ataques fúngicos e o mapa identificando a umidade relativa do ar no Brasil.

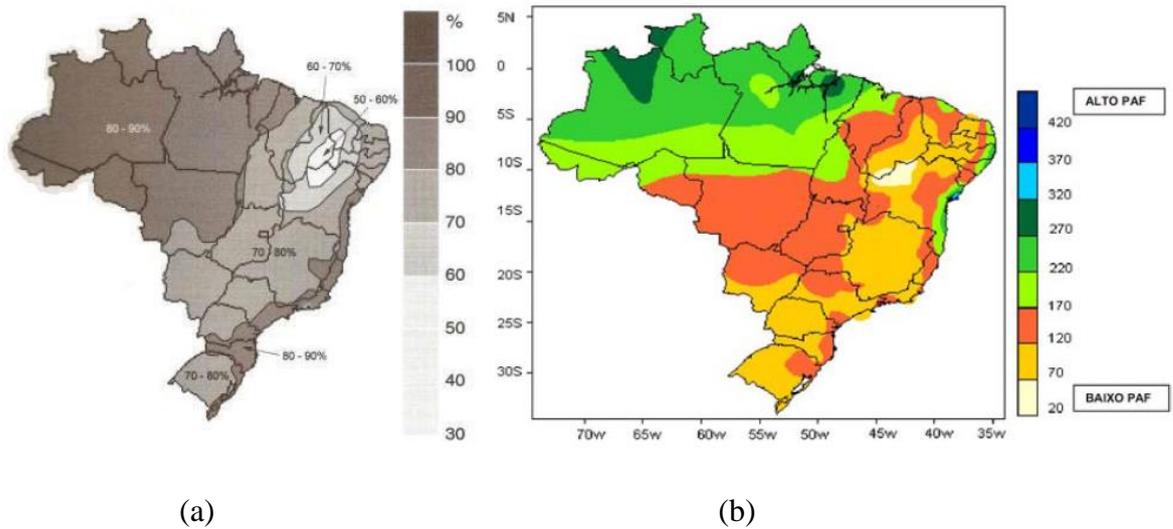


Figura 02. Mapas do Brasil para subsidio em avaliação de risco de biodeterioração: (a) Mapa de variação de umidade relativa do ar anual no Brasil. Fontes: INMET 1931/1990; PFEIL (2003); BRITO (2010); (b) Mapa de identificação do Potencial de Ataque Fúngico (PAF) no Brasil. Fontes: SILVA et al (2001); MARTINS et al (2003); FREITAS (2009).

O estudo de Déon (1989) combina as possíveis condições da madeira em serviço. Os principais fatores considerados que permitiram esta classificação foram: contato com solo, presença de coberturas, contato com fontes de umidade permanentes ou intermitentes e contato com água doce ou salgada. Esta proposta relata as classes de risco sem nomeá-las, considerando as seguintes condições de uso:

- em contato direto com o solo e sob intempéries;
- isolada do solo, mas exposta às intempéries;
- sob abrigo, mas em contato permanente com fonte de umidade;
- isolada do solo e protegida contra todos os riscos de reumidificação;
- imersa em água doce;
- imersa em água salgada ou salobra.

Carlos (1995) propõe uma divisão para as classes de risco enfatizando a biodeterioração da madeira e considerando as seguintes classes:

Classe 1: Situação em que a madeira ou o produto à base de madeira está sob abrigo, inteiramente protegido das intempéries e não expostos à umidificação.

Classe 2: Quando a madeira ou o produto à base de madeira estão sob abrigo, inteiramente protegido das intempéries, mas que a umidade ambiental elevada pode conduzir à umidificação ocasional, embora não persistente.

Classe 3: A madeira ou o produto à base de madeira não estão abrigados nem em contato com o solo. Está continuamente exposto às intempéries ou abrigado mas sujeito à umidificação frequente.

Classe 4: Situação em que a madeira ou produto à base de madeira está em contato com o solo ou com a água doce. Ou seja, em condição de exposição permanente à umidificação.

Classe 5: A madeira está permanentemente em contato com a água salgada expondo-se ao ataque de moluscos e crustáceos.

A Tabela 04 faz referência ao estudo de Campos (2000), e é colocado mais uma classe de risco.

Tabela 04: Classes de risco (continua)

Classes de Risco	Descrição
Classe de risco 1 Estrutura de madeira isolada do solo, sob abrigo e protegida contra a reumidificação	Essas condições de exposição são as mais favoráveis para a aplicação da madeira na construção civil. Contudo deve-se verificar a possibilidade de ataque das peças por agentes deterioradores de madeira seca e adotar medidas preventivas equivalentes as situações detectadas. Essa categoria de exposição pode ser verificada em escadas, portas, rodapés, mobiliários, entre outros. Nota-se a incidência desta categoria em interiores, constituindo-se de peças fabricadas comumente em carpintarias.
Classe de risco 2 Estrutura de madeira isolada do solo, sob abrigo e em contato permanente com fonte de umidade	É nesta categoria de emprego que ocorrem os incidentes de conservação mais frequentes, devido a um otimismo exagerado implicando numa ausência de precaução. Apesar de a madeira encontrar-se abrigada e isolada da umidade com o solo, deve-se verificar se esta apresenta contato permanente com fonte de umidade. Tem-se que estudar a possibilidade de reumidificação da madeira por meio de água de condensação ou simplesmente por pequenos vazamentos de água. Esta categoria engloba casos em que a madeira apresenta contato com alvenarias úmidas ou quando está

	presente nas peças de fixação de ar condicionado, em armários sob pias, em banheiros, entre outros.
Classe de risco 3 Estrutura de madeira isolada do solo, mas exposta a intempéries	Nesta classe de exposição a única fonte de umidificação é constituída pela chuva e águas de condensação. Para as madeiras isoladas do solo e expostas às intempéries, a ação da água é intermitente e, caso se estagne nas fendas ou ligações abertas dos elementos de madeira, pode-se desenvolver um ataque por agentes degradadores tanto nas partes úmidas como nas partes sãs. Nessas condições de exposição, as peças de madeira encontram-se comumente empregadas em estruturas externas, treliças expostas, treliças de pontes, entre outros.
Classe de risco 4 Estrutura de madeira em contato direto com o solo e/ou sob intempéries	Verificando-se as condições de exposição das madeiras em uso que pertencem à esta classe, observa-se que o contato direto com o solo expõe este material às variações de umidade e aos resíduos orgânicos presentes na superfície de apoio. Por sua vez, o intemperismo permite que a estrutura sofra mudanças constantes de temperatura, esteja em contato direto com os raios ultravioletas, e se exponha às variações de umidade. Em alguns casos necessita-se empregar a madeira nestas condições, sendo os principais: dormentes de ferrovias, postes de telecomunicações e de transmissão de energia elétrica, cercas e estacas.
Classe de risco 5 Estrutura de madeira imersa em água doce	Nesta condição de exposição, a madeira é submetida às condições de anaerobiose. Na condição de umidade saturada, as paredes celulares atingem o máximo de inchamento criando aberturas dentro da matriz polimérica. Quando a madeira encontra-se imersa em parte, a zona emersa se apresenta exposta à degradação. A condição se assemelha à classe de exposição em que a peça encontra-se em contato permanente com fonte de umidade. Os casos críticos desta categoria estão nas estruturas presentes em obras fluviais, tais como: elementos constituintes de passarelas ou pontes, estacas que em parte estão abaixo do nível do lençol freático, entre outros.
Classe de risco 6 Estrutura de madeira imersa em água salgada ou salobra	Nesta categoria de exposição as madeiras são susceptíveis aos ataques de agentes deterioradores marinhos. A evolução e a gravidade dos ataques estão relacionados à salinidade, à temperatura da água e à infestação eventual. Pode-se dizer que a aplicação da madeira em águas salobras encontra-se subordinada à utilização e ao estudo de técnicas aprimoradas de preservação. Nota-se a incidência desta categoria e regiões litorâneas, podendo ser

verificada principalmente nos portos, pontes ou passarelas.

Fonte: CAMPOS (2000)

O sistema consiste no estabelecimento de seis categorias de uso baseadas nas condições de exposição ou uso da madeira, na expectativa de desempenho do componente e nos possíveis agentes biodeterioradores presentes. (NBR 7190/2011)

A Figura 03 exemplifica em um modelo de edificação, as Classes de Risco que podem estar presentes em cada parte da edificação.

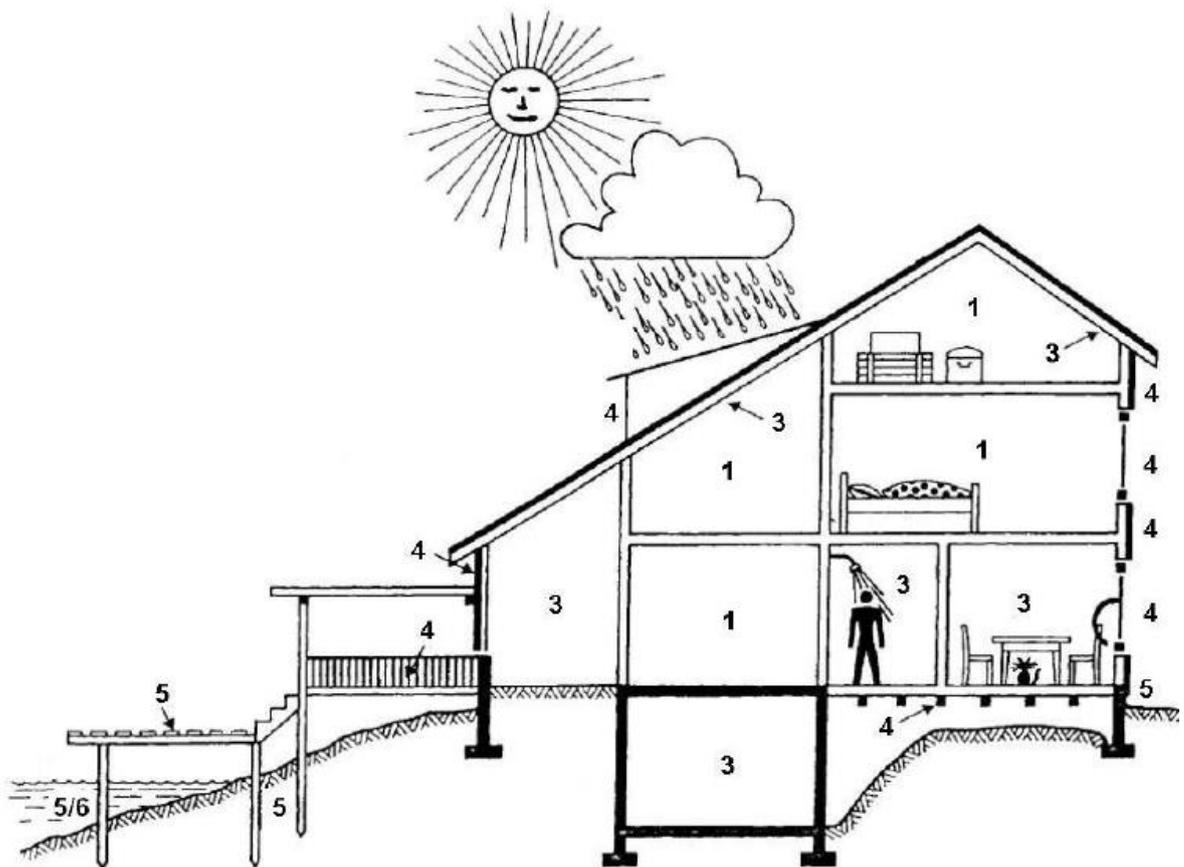


Figura 03. Exemplificação de um projeto preliminar para avaliação das áreas de risco de biodeterioração, em uma inspeção de edificação residencial, para determinação de indicativos das Classes de Risco, como proposta de utilização em Técnica Inspeção Visual Geral. Fontes: BRITO (2010) citado em CALIL e BRITO (2010).

Na Tabela 05 tem-se a relação entre as condições de uso da madeira, o risco de biodeterioração, e a exposição da peça, que é um guia para a avaliação de Classe de Risco.

Tabela 05: Guia de seleção para avaliação de Classe de Risco (continua)

Classe de Risco	Exposição	Condições Específicas de Risco	Risco de Biodeterioração	Condições de Uso
H1	Interna acima do solo	Completamente protegido de agentes atmosféricos, bem ventilado, e protegido de térmitas	Brocas (Lictídeos)	Elementos estruturais de cobertura e de pavimentos; ligações internas; forros; mobiliários.
H2	Interna acima do solo	Protegido de umidade, sem lixiviação	Brocas e Térmitas	Elementos estruturais; pavimentos; ligações internas e uso similar de situações secas.
H3	Externa acima do solo	Sujeito a periódicos umedecimentos moderados e lixiviação	Apodrecimento moderado, brocas e térmitas	Elementos estruturais; tábuas de revestimentos externos, outdoor, pérgulas, esquadrias de janelas; e decks (acima do solo)
H4	Externa em contato com o solo	Sujeito a severo umedecimento e lixiviação	Apodrecimento severo, brocas e térmitas	Elementos estruturais; muros; estufas, pérgulas e peças de jardim(no solo)
H5	Externa em contato com o solo ou água doce	Sujeito a umidade extrema e lixiviação, e/ou onde o uso crítico requer um maior	Apodrecimento muito severo, brocas e térmitas	Estacas; elementos estruturais paredes de contenção; postes pilares ou

		grau de proteção		colunas de edificações; torres de resfriamento.
H6	Submersa em água marinha	Sujeito a prolongada imersão em água salgada ou salobra	Perfuradores marinhos e apodrecimento muito severo	Cascos de barco; estacas; ancoradouros, e similares.

Fonte: Norma AS 1604.1- 2005 apud BRITO (2014)

Segundo a norma nacional de projetos de estruturas de madeira (NBR 7190/2011) ao se utilizar a madeira como material de engenharia, as seguintes etapas devem ser consideradas obrigatórias:

- definição do nível de desempenho necessário para o componente ou estrutura de madeira, tais como: vida útil, responsabilidade estrutural e garantias comerciais e legais;
- avaliação dos riscos biológicos aos quais as madeiras serão submetidas durante a sua vida útil;
 - ataque de fungos e insetos xilófagos e/ou perfuradores marinhos;
- definição da espécie de madeira adequada ao uso e da necessidade do tratamento preservativo considerando: durabilidade natural da espécie, tratabilidade, processo de tratamento e produtos preservativos disponíveis. O tratamento preservativo faz-se necessário se a espécie escolhida não é naturalmente durável para a categoria de uso considerada e/ou se a madeira contém alburno, porção naturalmente suscetível ao ataque de organismos xilófagos;
- escolha do processo de tratamento da madeira e do produto preservativo adequados.

4.4 AGENTES DEGRADADORES DA MADEIRA

A degradação da madeira pode ocorrer de várias formas, é importante conhecer como atuam os agentes deterioradores e identificar as principais causas da degradação, para assim fazer o melhor uso da madeira. Alguns aspectos estão totalmente ligados a degradação da madeira,

como a umidade, porcentagem de alburno ou de cerne que contém a peça, temperatura, técnicas inadequadas de construção, contato com solo e/ou água.

Segundo Mendes & Alves (1988), pode-se citar como as principais causas de degradação das peças de madeira: o desgaste mecânico, a degradação física, a degradação química e biológica.

Na Tabela 06 são apresentados os agentes de deterioração da madeira separados em agentes bióticos e abióticos.

Tabela 06: Principais tipos de agentes de deterioração da madeira. (continua)

Agentes de deterioração da madeira	
Agentes bióticos	Bactérias
	Fungos
	Fungos manchadores
	Fungos emboloradores
	Fungos apodrecedores
	Fungos de podridão parda ou cúbica
	Fungos de podridão branca ou fibrosa
Fungos de podridão mole	

Insetos		<p>Térmitas isópteras (Cupim-de-madeira)</p> <ul style="list-style-type: none"> Térmitas-de-madeira-seca Térmitas-de-madeira-úmida Térmitas-subterrâneos Térmitas-epígeos Térmitas-arborícolas <p>Broncas-de-madeira</p> <ul style="list-style-type: none"> Brocas que atacam árvores vivas Brocas que atacam árvores recém-abatidas Brocas que infestam a madeira durante a secagem Brocas de madeira seca <p>Formigas-carpinteiras</p> <p>Abelhas-carpinteiras</p>
Perfuradores marinhos		<p>Moluscos</p> <ul style="list-style-type: none"> Teredinidae <p>Crustáceos</p> <ul style="list-style-type: none"> Pholadidae Limnoria Sphaeroma terebrans
Agentes abióticos	Agentes Físicos	<p>Patologias de origem estrutural</p> <ul style="list-style-type: none"> Instabilidade Remoção de elementos estruturais Fraturas incipientes Movimentos de nós e distorções Deformações, deslocamentos e flechas Presença de defeitos naturais <p>Danos mecânicos</p>

	Danos por animais silvestres
	Danos por vandalismo
Agentes Químicos	Corrosão em ligações
	Efeito da corrosão na madeira
Agentes Atmosféricos ou Meteorológicos	Ação da luz ultravioleta
	Intemperismo
	Danos por inchamento e retração da madeira
	Ações de ventos nas estruturas
	Raios atmosféricos
	Danos devido ao fogo

Fonte: BRITO (2014)

4.4.1 DESGASTE MECÂNICO

A madeira, submetida a condições de movimentos de diversas classes, está sujeita continuamente se deteriorar pela ação do desgaste mecânico. Como é o caso de dormentes, escadas, pontes, blocos de madeira usados em pavimentação de cais etc.

Em alguns casos, a madeira pode tornar-se inútil somente pelo desgaste mecânico. Na maioria das vezes, a podridão se combina com a abrasão para causar a deterioração. Ocasionalmente, o desgaste mecânico é confundido com apodrecimento causado por fungos.

A degradação por desgaste mecânico não depende da exposição da peça, analisando-se de forma particular tem-se somente a presença dos tipos de solicitações que o elemento sofre.

4.4.2 DESGATE FÍSICO

O fogo é considerado o principal agente físico de destruição. Ao contrário da ação relativamente lenta e menos evidente da deterioração causada por fungos, insetos e organismos marinhos, a destruição da madeira pelo fogo é extremamente rápida, devastando florestas, pátio de estocagem e construções de madeira. Entretanto, o fogo é de importância secundária quando comparado ao ataque produzido por fungos xilófagos.

De acordo com SILVA (2008) os principais agentes atmosféricos ou meteorológicos que atuam sobre a superfície da madeira exterior, são o sol e a chuva. O vento assume-se como um agente patológico de menor importância. É de referir que estes agentes degradadores atuam em tempos diferentes.

a) Ação da chuva – a madeira sofre variações bruscas de humidade, criando tensões que originam fendas, diminuindo assim as características mecânicas da madeira. Além disto, as chuvas provocam variações volumétricas na madeira. A humidade é um fenómeno reversível, sendo a resistência restituída após secagem; Especificações de tratamentos de preservação para elementos de madeira

b) Radiações solares – a radiação ultravioleta, devido ao efeito da foto degradação, provoca a descoloração da madeira. Além disto, esta radiação destrói a lenhina, provocando um aspecto de desfibramento superficial na madeira. Os raios infravermelhos conjugados com ciclos de humidade e temperatura provocam contrações e dilatações na madeira, formando-se assim fendas longitudinais, potenciais focos de ataques bióticos.

c) Vento – o vento aparece no final essencialmente como uma ação que pode causar a ruína após atuação dos outros agentes. Pode ter uma ação positiva de ventilação, quando em rajadas não muito fortes.

As diversas condições climática-meteorológicas também atuam, isoladamente ou em conjunto, degradando a madeira. Radiação solar, ventos, chuvas, umidade, etc, agem alterando a cor da madeira, invadindo a superfície tornando-a áspera, causando inchamentos e contrações, rachaduras e defeitos, aumentando assim, os riscos de ataque de organismos xilófagos.

Assim como se verifica na Tabela 07, de causas e efeitos do intemperismo, onde o pior cenário é a perda de resistência da madeira.

Tabela 07: Causas e efeitos do intemperismo.

Causa	Efeito
Raios solares	Retração da madeira
Esforços internos	Fendas longitudinais
Chuva	Águas nas fendas
Inchamento	Aprofundamento das fendas
Fendas profundas	Permanência de umidade
Permanência de umidade	Desenvolvimento de fungos
Ação dos fungos	Deterioração interna
Deterioração pronunciada	Perda de resistência

Fonte: KROPF (2000)

4.4.3 DESGASTE QUIMICO

A madeira quando em contato com substancias químicas tais como ácidos, bases fortes, óxidos de ferro, dióxido de enxofre, sais de sódio, etc., pode sofrer transformações químicas, com redução de suas propriedades físico-mecânicas.

Este tipo de deterioração independe do contato da estrutura com o solo, da proteção às intempéries ou de exposições a constantes fontes de umidade. Por isso pode ser encontrada em diferentes classes de risco da madeira, sendo facilmente detectada em estruturas de fábricas que comercializam produtos químicos, em peças que apresentam contato com ferragem ou em componentes de madeira protegidos com tintas altamente ácidas ou álcalis MENDES & ALVES (1988).

A madeira decomposta por ação química apresenta-se amolecida e, normalmente, com aparência esgarçada ou desfibrada. (MENDES & ALVES, 1988)

4.4.4 DESGASTE BIOLÓGICO

Segundo Ritter e Morrell (1990) apud Brito (2014), a madeira é extremamente resistente à deterioração biológica, denominada também em Lelis et al (2001) por biodeterioração, mas diversos organismos desenvolveram a capacidade de utilizar a madeira de tal maneira que alteram suas propriedades.

Para Lelis et al (2001), biodeterioração é o termo empregado para designar alterações indesejáveis geradas pela ação, direta ou indireta, de seres vivos nos materiais em uso pelo homem.

A biodeterioração da madeira é o estrago causado por agentes naturais como os microrganismos, insetos e xilófagos marinhos. A ação dos microrganismos interfere no interior das células com enzimas que alteram o tecido da madeira.

As bactérias são um dos tipos de organismos que atacam a madeira e há uma grande diversidade de bactérias que prejudicam a madeira as mais comuns são as do gênero *Bacillus*. Os ataques em sua maioria acontecem em meios de umidade elevada, as bactérias decompõem a celulose, a hemicelulose e a lignina que são os principais compostos da madeira, causando o apodrecimento da peça.

São comuns os danos causados em estruturas de madeira por ação dos fungos, estes são organismos vegetais que não possuem clorofila, seus talos (micélios) são compostos de células entrelaçadas (hifas) que formam um emaranhado com aspecto de algodão. Essas células absorvem os nutrientes da madeira e os distribuem por difusão (MUHLBAUER; RAZEIRA, 2001)

Para o desenvolvimento dos fungos alguns fatores são primordiais como a umidade, temperatura, ventilação, e uma base adequada. No combate aos fungos é resolutivo a alteração de um ou todos esses fatores, sendo que esse tipo de microrganismo só aparecem em madeiras com umidade superior a 20% e é possível elimina-los a uma temperatura de 45°C.

Existe pouca informação sobre a avaliação perda de resistência nos estágios incipientes de deterioração por fungos apodrecedores, mas vários pesquisadores têm correlacionado resistência com a perda de densidade em pequenas amostras de madeira. (BRITO, 2014)

As inúmeras espécies de fungos causam diferentes alterações na madeira que podem ser agrupada em categorias:

- Podridão branca: De aparência esbranquiçada, a madeira tem além da alteração da cor uma perda na resistência e também uma perda gradual de peso tudo isso é devido à remoção do hidrato de carbono e da lignina, e destruição da celulose e da hemicelulose.

- Podridão Parda: A madeira atacada adquire manchas escuras, os fungos atacam a celulose e deixam a lignina de cor marrom. Também surgem rachaduras perpendiculares, ao longo da direção das fibras, diminuindo em muito a resistência da peça, e ocorre uma diminuição progressiva do peso.

- Podridão Mole: O ataque da madeira ocorre somente em sua superfície, é raro atingir uma região com mais de 2cm de espessura. Essa camada fica escura e quando úmida, fica amolecida e facilmente removível, quando seca é semelhante a madeira atacada pela podridão parda. Os fungos que causam esse tipo de deterioração são mais resistentes aos produtos protetivos da madeira.

O fungo de podridão mole tem o ataque restrito à superfície da madeira, dificilmente penetrando além de 20 mm de profundidade, entretanto, a porção atacada da madeira pode se destacar com facilidade, expondo novas regiões a ação dos fungos. (LELIS et al, 2001).

A biodeterioração por fungos desse tipo ocorre em ambientes com elevado teor de umidade e pouca disponibilidade de oxigênio. Quando úmidas, as peças de madeira com podridão mole apresentam sua superfície amolecida. Ao secar, esta superfície escurece e tende a apresentar pequenas fissuras paralelas e perpendiculares as fibras da madeira. (LELIS et al 2001)

Ritter e Morrell (1990) apud Brito (2014) dizem que os fungos de podridão mole necessitam mais da adição de nutrientes exógenos para promover infestações. Esses nutrientes são muitas vezes, inadvertidamente fornecidos por fertilizantes em solos agrícolas, resíduos de celulose em torres de resfriamento, e em diversas outras fontes de nutrientes.

- Fungos Manchadores: São manchas causadas pela presença de hifas pigmentadas ou da liberação de pigmentos pelos fungos. As manchas são encontradas somente na região do alburno.

Os fungos manchadores podem causar preocupações mais sérias, pois além de penetrarem mais profundamente e descolorirem a madeira, sob condições ambientais favoráveis, alguns fungos manchadores também podem ser originários ao risco de biodeterioração na madeira, causando a diminuição de resistência e o aumento da permeabilidade, além de manchar a madeira, geralmente rejeitada durante a classificação para usos estruturais (RITTER e MORRELL, 1990) apud (BRITO, 2014).

- Fungos Emboloradores: Frequentemente com ocorrência em madeiras recém cortadas ou em condições úmidas. Apresenta alta resistência a diversos preservativos.

Os fungos emboloradores infectam a superfície da madeira, causando defeitos que geralmente podem ser removidos com escovação, lixamento ou aplainamento. Os fungos emboloradores são responsáveis por uma importante alteração na superfície da madeira conhecida popularmente como bolor. Na realidade, o bolor resulta da enorme produção de esporos, que possuem cores variada de acordo com a espécie de fungo (LELIS et al, 2001).

Os fungos emboloradores e os fungos manchadores colonizam a madeira logo após o desbaste e continuam a proliferar enquanto o teor de umidade permanecer elevado, acima de aproximadamente 25% para madeiras macias. O principal efeito desses fungos é o de manchar ou descolorir a madeira [(RITTER; MORRELL, 1990); (ARRIAGA et al, 2002); (LOPES, 2007); (DRIEMEYER, 2009); (ANAGNOST, 2011); (BASTOS, 2011); (BRANCO et al, 2012)] apud (BRITO, 2014).Esses dois tipos são considerados fungos não deterioradores e são de conseqüências práticas primárias, sobretudo onde as madeiras são produzidas, afetando praticamente a qualidade estética. Segundo Ritter e Morrell (1990) apud Brito (2014), embora esses fungos não prejudiquem a resistência da madeira, sua presença pode ser um indicativo de condições ambientais favoráveis para o aparecimento de fungos apodrecedores mais graves. Em alguns casos dependendo da espécie, o ciclo de proliferação dos fungos pode causar uma retirada das toxinas naturais da superfície da madeira ou a remoção de tratamentos preservativos, assim podendo acelerar o processo de ataques de fungos apodrecedores.

Os fungos apodrecedores são os agentes patológicos mais comuns no Brasil, devido ao clima predominante e a alta umidade encontrada na maior parte do país, cria-se um ambiente ideal para o desenvolvimento de fungos, porém onde a média de umidade relativa é abaixo de 20% não existe deterioração da madeira (CALIL JR. et al 2006).

Cruz (2011) reforça que nos casos de fungos apodrecedores, cujos efeitos são difíceis de quantificar com rigor a degradação biológica em relação à seção transversal útil, considera

prudente desprezar a contribuição de toda a seção afetada. A distinção entre a madeira biodeteriorada e a madeira são simplesmente suja ou com manchas de umidade deve ser claramente realizada, o que justifica a necessidade de acesso direto aos elementos e a utilização de métodos não destrutivos.

A madeira é susceptível a deterioração, particularmente à biodeterioração. Dentre os vários grupos de organismos capazes de causar danos à madeira, os principais são aqueles denominados xilófagos, pelo fato da madeira ser a sua principal fonte de alimento. (LELIS et al 2001)

Os insetos xilófagos encontram no Brasil condições climáticas ideais, clima quente e úmido, para sua proliferação. São eles os isópteros (cupins e térmitas) e os coleópteros (brocas)

- Cupins de madeira: Cavam galerias perpendiculares as fibras da madeira e as mantêm fechadas com excrementos. A eliminação é mais simples.

- Cupins de solo: Ao atingirem a madeira cavam galerias paralelas às fibras. O extermínio do cupim de solo é mais complexo, pois a localização da ninheira nem sempre é tarefa fácil.

Os danos provocados pelas térmitas podem ser devastadores, podendo até levar os elementos de madeira ao colapso. Na grande maioria das vezes os danos não são visíveis externamente, e geralmente, quando são identificáveis, já estão em situações de níveis de deterioração mais graves, como grandes perdas de seção, originando perda de capacidade resistente (MARTINS, 2009).

Os resultados de grandes ataques por brocas podem ser de extrema gravidade, uma vez que as larvas cavam grandes galerias em diversas direções formando um denso emaranhado que compromete a resistência mecânica do material.

Os xilófagos marinhos são outro tipo de agentes biodegradadores da madeira. Quando a madeira não está protegida e em contato com a água do mar, ou submersa nesta, pode sofrer ataque de uma variada fauna marinha, que nos casos mais drásticos pode acabar com a peça em um ou dois anos. Entre esta fauna pode-se destacar:

- Moluscos: Perfuram a madeira com suas conchas, instalando-se na peça sob o estado de larva, inicialmente por um orifício minúsculo, mas conforme crescem, aumentam o

diâmetro do orifício de entrada. Interiormente a madeira é rapidamente perfurada, restando apenas uma casca externa intacta.

- Crustáceos: Atacam em grande número cavando galerias que aparecem em anéis da madeira mais mole com pequeno diâmetro e pouca profundidade, mas que se cruzam no interior da peça causando uma descamação da madeira e exposição da nova face a um novo ataque. Há então uma diminuição progressiva da seção da peça, que acaba por provocar seu colapso.

Na prevenção contra os xilófagos marinhos devem-se prever revestimentos resistentes, nos trechos exposto às variações de maré, como tratamento com alcatrão, pintura a óleo à base de chumbo ou cobre, de acordo com a situação, ou utilizar madeiras tratadas com substâncias tóxicas aos xilófagos, como o creosoto, que é utilizado universalmente.

É importante que seja retirada uma amostra de material para identificação precisa do agente causador do dano, o que facilitará a escolha do procedimento mais adequado. Como o ataque de fungos e bactérias está diretamente relacionado com a umidade, é imprescindível que o problema seja sanado para garantir que os procedimentos sejam eficazes.

Os agentes bióticos necessitam de certas condições de agressividade ambiental, adequadas e favoráveis para sobrevivência, que incluem umidade disponível, temperatura adequada, oxigênio e fonte de alimento, geralmente a madeira. Quando qualquer um desses fatores é removido, a madeira é preservada do ataque biótico (RITTER; MORRELL, 1990) apud (BRITO, 2014).

Na Tabela 08 apresenta-se uma proposta para inspeções visuais gerais, considerando as condições de uso da madeira e relacionando-as com a Classe de Risco pertencente. Enquanto que na Tabela 09 as Classes de risco são relacionadas com a exposição da madeira à umidade e na Tabela 10 tem-se a indicação da presença dos organismos deterioradores da madeira em relação às Classes de risco.

Tabela 08: Proposta das Categorias de uso para avaliação em mapeamento de áreas em Classes de Potencial de Risco de Biodeterioração, para aplicação em Inspeções Preliminares pela Técnica de Inspeção Visual Geral de elementos estruturais de madeira, em função das exposições de agressividades ambientais em condições de uso.
(continua)

Classe de Risco (CR)	Condição de uso da madeira	Organismo xilófago
1	Interior de construções, fora de contato com o solo, fundações ou alvenaria, protegido das intempéries, das fontes internas de umidade e locais livres do acesso de cupins-subterrâneos ou arborícolas.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira
2	Interior de construções, em contato com a alvenaria, sem contato com o solo ou fundações, protegidos das intempéries e das fontes internas de umidade.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas
3	Interior de construções, fora de contato com o solo e protegidos das intempéries, que podem, ocasionalmente, ser expostos a fonte de umidade.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos emboloradores/manchadores Fungos apodrecedores
4	Uso exterior, fora de contato com o solo e, sujeitos às intempéries.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos emboloradores/manchadores Fungos apodrecedores
5	Contato com o solo, água doce e outras situações favoráveis à deterioração, como engaste em concreto e/ou alvenaria.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos

		emboloradores/manchadores
		Fungos apodrecedores
6	Exposição à água salgada ou salobra	Perfuradores marinhos
		Fungos
		emboloradores/manchadores
		Fungos apodrecedores

Fonte: BRAZOLIN et al (2004); citada em BRITO (2010) e CALIL e BRITO (2010)

Tabela 09: Classes de Risco: Grupos de agentes de biodeterioração que podem atacar a madeira, conforme o local e as condições que ela está empregada.

Classes de Risco	Local e condições de uso	Exposição à umidade	Agentes de biodeterioração			
			Fungos	Brocas	Térmitas	Perfuradores marinhos
1	Acima do solo (Coberto e seco)	Nenhuma	Não	Sim	Sim	Não
2	Acima do solo (Coberto com riscos de umidade)	Ocasional	Sim	Sim	Sim	Não
3	Acima do solo (não coberto)	Frequente	Sim	Sim	Sim	Não
4	Em contato com solo ou água doce	Permanente	Sim	Sim	Sim	Não
5	Em contato com água salgada	Permanente	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Normas EN 335-1 e EN 335-2 apud IPT (2001)

Tabela 10: Agentes biológicos em função das situações de risco de biodeterioração da madeira.

Situação de Risco	Agentes biológicos					
	Fungos apodrecedores		Fungos manchadores e emboloradores	Insetos	Perfuradores marinhos	
	Basídio micetos	Podridão mole	Azulão	Besouros	Cupins	
1	-	-	-	L	L	-
2	U	-	U	L	L	-
3	U	-	U	L	L	-
4	U	U	U	L	L	-
5	U	U	U	L	L	U

NOTA-U = presente; L= pontos localizados

Fonte: NBR 7190:1997

4.4.5 EFEITO DA CORROSÃO NA MADEIRA

É um tipo de degradação muito comum que acontece em certas condições de agressividade ambientais, como por exemplo, ambientes marinhos onde a água salgada e a salinidade da maresia estão presentes acelerando o processo de degradação. A degradação da madeira por corrosão metálica é frequentemente negligenciada, e de grande importância estrutural, uma vez que ocorre na região de junção dos elementos de madeira, onde são colocados os conectores metálicos.

O processo de deterioração por corrosão metálica se inicia quando a umidade na madeira reage com o ferro do conector metálico, desprendendo íons que deterioram as paredes das células da madeira. Conforme progride a corrosão é reduzida drasticamente a resistência da madeira na zona afetada, a madeira apresenta características visuais de

coloração escura e de aparência macia. Essas características como a umidade presente, levam a associar a esse dano o aparecimento de fungos apodrecedores. O efeito da corrosão do metal pode ser limitado com a substituição por conectores metálicos galvanizados ou não ferrosos.

O controle de umidade é o método mais simples e mais econômico de reduzir o risco de biodeterioração por apodrecimento em estruturas de madeira. Ele pode ser usado como técnica de manutenção prática e eficaz para prolongar o tempo de Vida útil em serviço de muitas estruturas existentes. O controle de umidade envolve uma abordagem comum na identificação de áreas úmidas visíveis ou com alto teor de umidade, em que se deve localizar a fonte geradora de água, e tomar medidas corretivas para eliminá-la.

De modo geral Brito (2014) elaborou a Tabela 11, que revela as manifestações patológicas causadas por organismos deterioradores da madeira.

Tabela 11: Características de sinais visuais de manifestações patológicas por agentes bióticos, com Potencial de Risco de Biodeterioração. (continua)

Manifestação patológica	Características visuais
<p>Manchas de umidade por infiltrações</p> <p>“O inspetor deve estar atento para quaisquer indicações de pontos intuitivos ou de sinais visuais de manchas de infiltrações. Os sinais visuais podem aparecer como marcas d’água, manchas leves de lama ou manchas com variações na coloração, RITTER e MORRELL (1990). As manchas de umidade na madeira, geralmente decorrentes de infiltrações, são sinais visuais que sempre devem ser consideradas como “Alto Potencial de Risco de Biodeterioração”, pois geralmente são regiões favoráveis à proliferação de fungos apodrecedores”.</p>	

Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)

Presença de manchas ou descolorações

“A presença de manchas ou descolorações diferencialmente podem ser indicativos de que os elementos estruturais de madeira tenham sido submetidos a infiltrações e/ou apresentem teores de umidade elevados, potencialmente adequados para biodeterioração e/ou apodrecimento [Highley e Scheffer (1989), RITTER e MORRELL (1990), ROSSOW (2012)]. As manchas de corrosão também podem ser bons indicativos de infiltrações, RITTER e MORRELL (1990)”.



Fonte: ROSSOW (2012)

Presença de corpos de frutificação e/ou hifas

“Os corpos-de-frutificação podem evidenciar como indicativo de ataque de fungos apodrecedores, no entanto, não indicam a quantidade ou a extensão da deterioração [HIGHLEY e SCHEFFER (1989) e RITTER e MORRELL (1990), ROSSOW (2012)]. Alguns fungos produzem corpos de frutificação depois de ocorrido pequenas dimensões de biodeterioração, enquanto outros se desenvolvem apenas depois que a biodeterioração já está extensa. Segundo RITTER e MORRELL (1990), pelo motivo dos corpos de frutificação não serem comuns em estruturas de pontes de madeira, por exemplo, certamente o surgimento desses organismos, em elementos estruturais de madeira, indicam problemas graves de deterioração quando estão presentes”.



Fonte: ROSSOW (2012)

Presença de crescimento de plantas e/ou musgos

“O crescimento de plantas e/ou musgos esverdeados ou escuros em fendas, rachas, fissuras, ou acumulações de solo sobre elementos estruturais, podem ser indicativos de que a madeira adjacente, geralmente na região de apoio ou nó de ligação desprotegida, que esteja com Teor de umidade relativamente elevado, são sinais de manifestações patológicas com grande potencial de risco



de biodeterioração por fungos apodrecedores, quando expostas por um longo período de tempo, RITTER e MORRELL (1990); CRUZ (2001)”.

Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)

Depressões superficiais

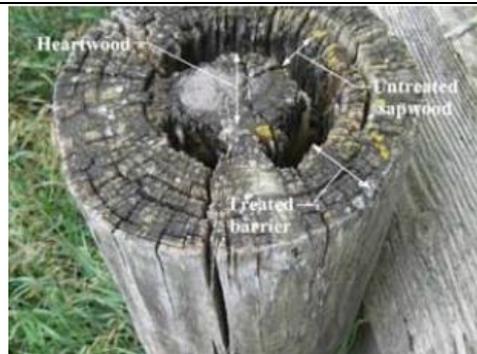
“Fases afundadas ou depressões superficiais localizadas, que apresentem camada superficial fina removida, podem indicar fundamentais sinais visuais de potencial de risco de biodeterioração por apodrecimento, HIGHLEY e SCHEFFER (1989); RITTER e MORRELL (1990); BRASHAW et al (2012); ROSSOW (2012)]. “Na região de superfície de elementos estruturais, podem desenvolver camadas de deterioração ou vazios, formando uma camada de depressão fina intacta ou parcialmente intacta, na superfície de madeira, RITTER e MORRELL (1990)”.



Fonte: BRASHAW et al (2012)

Biodeterioração por apodrecimento em topo de estacas e/ou colunas

“No topo de estacas de apoio, colunas, etc., o capuz de proteção de topo, em regiões de apoio da superestrutura geralmente provê de uma superfície horizontal que retém detritos e escoamentos de água do tabuleiro. As fibras de extremidade nas peças de madeira devem sempre ser consideradas com alto potencial de risco de biodeteriorações, pois são mais susceptíveis à retenção de água. As ligações internas em capuz e fendas que retêm água e detritos tornam-nas regiões críticas. Água no capuz que esco para as ligações pode resultar em biodeteriorações internas substanciais, por apodrecimento, com pouca evidência de danos externos, RITTER e MORRELL (1990); BIGELOW et al (2007). A podridão no interior da madeira, típica em topo de estacas, geralmente decorrentes de falhas no processo de tratamento preservativo em autoclaves, e/ou quebras da barreira de tratamento em cortes efetuados “in loco” sem tratamento posterior, HIGHLEY e SCHEFFER (1989);



Fonte: BIGELOW et al (2007)

RITTER e MORRELL (1990)”.

Biodeterioração por apodrecimento em superfícies de extremidade das fibras

“As superfícies de extremidade das fibras devem ser consideradas como “Alto Potencial de Risco de Biodeterioração” por apodrecimento, pois absorvem a água muito mais rapidamente do que as superfícies laterais das fibras, RITTER e MORRELL (1990). Uma superfície exposta, desprotegida, ou a sucessão inadequada de trabalhos, por exemplo, em perfurações, cortes ou entalhes em madeira após ter sido tratada em autoclave, resulta em superfícies de madeira não tratadas, que ficam expostas, favorecendo ao ataque de agentes bióticos, RITTER e MORRELL (1990), BIGELOW et al (2007)”.



Fonte: BIGELOW et al (2007)

Excremento de Insetos: resíduos de grânulos ovalados

“A identificação de orifícios com resíduos de grânulos ovalados podem indicar excrementos, que evidenciam insetos em atividade, e quando identificados, geralmente são sinais visuais de manifestações patológicas com Alto Potencial de Risco de Biodeterioração. E a presença de atividade de insetos também pode evidenciar a presença de biodeterioração por apodrecimento, RITTER e MORRELL (1990); ARRIAGA et al (2002)”.



Fonte: ASKNATURE (2014)

4.5 ASPECTOS RELACIONADOS AO PROJETO E EXECUÇÃO

É fundamental que os projetos de engenharia levem em consideração inúmeros fatores, entre eles podem-se destacar alguns como a viabilidade do projeto, a economia, o local e suas características e os materiais empregados. Ressalta-se ainda a importância da vida

útil de qualquer construção nos tempos atuais, a garantia de uma obra é um fator competitivo no mercado da construção civil.

A madeira foi uns dos primeiros materiais a serem utilizados nas habitações dos povos primitivos, e desde essa época já eram tomados cuidados especiais nas construções desse material, a fim de preservar a madeira contra intempéries e adequar a construção com a necessidade de cada região.

Alguns exemplos são dados por Filho (2006): Na Nova Guiné os nativos faziam suas casas em terrenos levemente inclinados, assim a umidade não ficava retida em um só lugar, eles também mantinham as peças de madeira separadas para que estivesse sempre bem ventilada, a forma arredondada das habitações era propositalmente para evitar exposição frontal intensa, para que todas as laterais tomassem sol e para evitar arestas que teriam detalhes construtivos mais complexos e a possível penetração de água.

Os chineses já faziam suas casas elevadas a 50 cm do solo e a primeira peça era de uma madeira com o sentido das fibras na horizontal, evitando a umidade por capilaridade, além de detalhes construtivos nas bases que tinham a intenção de impedir o ataque de roedores.

E por último, o estilo de construção que são as edificações em troco. Naturais da Romênia e da Noruega, esse tipo de construção toda feita por encaixe de troncos de madeira é muito eficiente, os troncos são totalmente unidos o que evita a proliferação de microrganismos, e ainda deixa frestas milimétricas que ajuda a passagem de correntes de ar e previne o acúmulo de umidade nas fachadas. Esse tipo de edificação é mais estável e dificulta a propagação da umidade proveniente do sol, por ter os troncos colocados na horizontal com o sentido das fibras perpendiculares.

No interior das edificações, o ataque da madeira por fungos apodrecedores surge com a presença de deficiências da construção, tais como infiltrações de água da chuva, em resultados de estruturas de madeira, de coberturas, ou caixilharias, mal concebidas ou mal conservadas, por elevação de água por capilaridade com origem no solo de fundação, tubulações com vazamentos, condensações, ausência de ventilação, etc.(BRITO, 2014)

A seguir na Tabela 12 há a indicação de uma sequência de medidas para alcançar a maior durabilidade da madeira.

Tabela 12: Medidas visando a durabilidade das madeiras.

Tipo de medidas	Objetivos
Correta escolha do material	Diminuir o grau de responsabilidade da madeira e dos seus derivados, comprometendo o desempenho do conjunto
Projeto apropriado	Entre outros aspectos, objetiva-se um detalhamento cuidadoso cuja finalidade consiste em reduzir a exposição direta da madeira ao intemperismo
Tratamentos preservativos	Proteção contra a descoloração e a deterioração por fungos e insetos
Acabamentos	Proteção contra absorção de umidade; desfiguração, estabilização e prevenção de rachaduras e proteção limitada contra fungos e insetos
Manutenção adequada	Evitar danos de reposição ou recuperação difícil ou onerosa

Fonte: BENEVENTE (1995)

As medidas preventivas foram extraídas do trabalho realizado por Benevente (1995), que trata sobre diretrizes de projeto visando a durabilidade de sistemas construtivos em madeira essas medidas envolvem a escolha da madeira, as condições de uso e a função das peças.

Escolha da madeira: Para uma escolha mais apropriada da madeira, diferentes aspectos associados as suas propriedades tem que ser observado, como: durabilidade natural ou melhorada através de tratamento preservativo; compatibilidade com o tipo de acabamento previsto; estabilidade dimensional; resistência mecânica; qualidades estéticas e facilidade de manutenção através de cuidados apropriados de conservação (BENEVENTE, 1995).

Todas essas propriedades devem ser analisadas levando-se em consideração as condições de uso, a função da peça, e a classificação da madeira em relação aos seus defeitos.

A condição de uso é um importante fator, diretamente ligado a durabilidade da peça, e faz referência ao grau de exposição da madeira ao intemperismo, a fontes de umidade, e também aos agentes agressivos. Conforme apresentado no capítulo 3 deste trabalho.

A função das peças é a verificação de maior importância na fase de projetos, peças de grande relevância estrutural precisam de um cuidado absoluto em relação aos outros fatores, pois, dependendo do grau de deterioração que a mesma venha a apresentar, pode comprometer a segurança e a estabilidade da edificação.

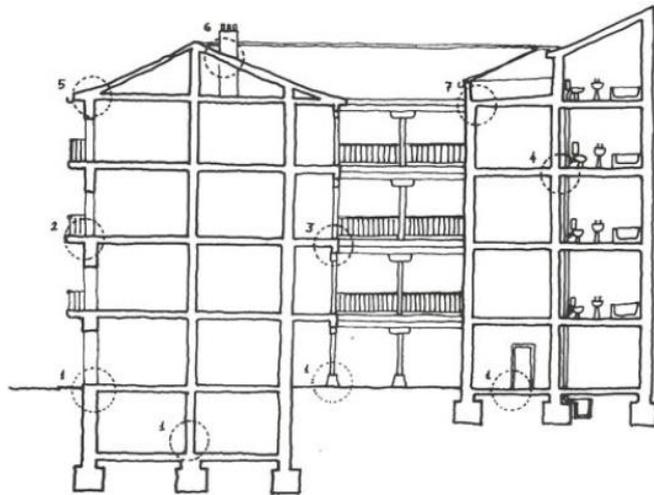
Na Figura 04 é exposto os indícios de risco de biodeterioração na parte externa da edificação e na Figura 05 o corte da edificação exhibe as regiões internas onde pode ocorrer a biodeterioração.



Legenda, CRUZ (2001):

1. Deformações localizadas em telhados;
 2. Madeiras expostas em mau estado;
 3. Telhas deslocadas e/ou trincadas;
 4. Calhas ou coletores de águas pluviais entupidos ou danificados;
 5. Regiões de telhado pouco saliente;
 6. Arremates ineficazes; regiões próximas às chaminés;
 7. Crescimento de vegetações;
 8. Manchas de umidade;
 9. Fissuras e/ou trincas em paredes;
 10. Rebocos desagregados ou fissurados;
 11. Esquadrias deterioradas;
 12. Ausência de impermeabilizações;
 13. Canteiros e/ou jardins adjacentes;
 14. Aberturas de ventilação obstruídas;
- Fonte: BERRY (1994) adaptado por CRUZ (2001)

Figura 04. Avaliações externas em edificações: indícios de risco de biodeteriorações. Fonte: ARRIAGA et al (2002) apud BRITO (2014).



Legenda, ARRIAGA et al (2002):

1. Peças nas proximidades e/ou em contato com solo;
2. Regiões de apoios de vigas em balanço em paredes de fachada, de varandas,
3. Regiões de apoios em vigas de pavimentos em Galerias
4. Pavimentos em áreas molhadas (banheiros, cozinhas, lavanderias etc.)
5. Regiões de apoio sobre paredes Beirais, e proximidades de calhas;
6. Regiões de chaminés em coberturas;
7. pavimentos de terraços ou coberturas planas.

Figura 05. Regiões de risco de biodeteriorações em edificações de madeira. Fonte: ARRIAGA et al (2002) apud BRITO (2014).

4.5.1 CLASSIFICAÇÃO DA MADEIRA SEGUNDO SEUS DEFEITOS

Os defeitos da madeira são comuns por se tratar de um material orgânico, na construção sua aceitação depende exclusivamente da função que a peça vai exercer e se os defeitos podem ou não comprometer o fim destinado a cada peça.

Para peças com função estrutural não aparente, não é permitido presença de defeitos que alterem a resistência mecânica ou comprometam a vida útil da estrutura. Em estruturas parcialmente ou totalmente sujeitas a intempéries, os defeitos são inadmissíveis, pois não se pode ter perda de resistência mecânica, e a perda do bom desempenho da superfície quanto a revestimentos e acabamentos. E quando a peça não tem função estrutural, os defeitos só não podem comprometer a garantia da vida útil e as qualidades estéticas.

Na Tabela 13, contêm os principais defeitos da madeira, referentes ao processamento da madeira.

Tabela 13: Principais defeitos da madeira originados no processamento.

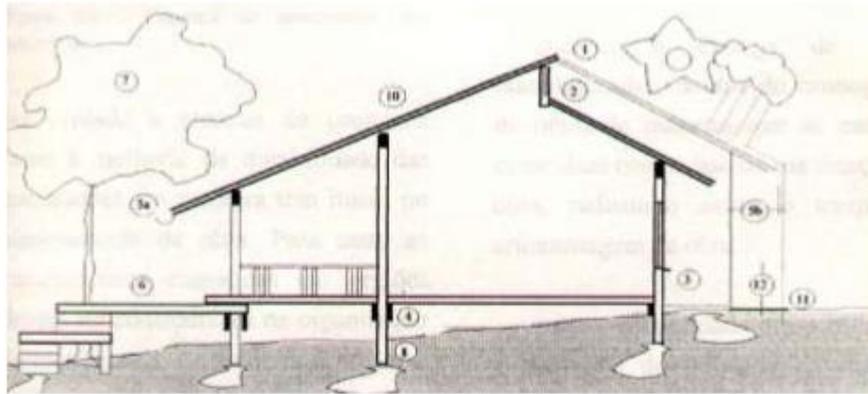
Defeitos	Especificações	Ilustrações
Rachadura do cerne	Rachadura do cerne próxima a medula decorrentes de fortes tensões internas devido ao processamento	
Faixas de parênquima	Essas faixas, quando largas apresentam baixa densidade e pouca resistência mecânica, em elementos submetidos à compressão podem provocar a separação dos anéis	
Fibras ou grã inclinada	A inclinação parece ao serrar a peça em ângulo com a orientação das fibras ou pela presença de nós	
Nós são	Tecido lenhoso, resultante do rastro deixado por um ramo, galho, cujas características e propriedades são diferentes dos da madeira circundante	
Nó oco	Quando ocorre desprendimento do material	

Fonte: JUNAC (1994) apud ARAKAKI (2000).

4.5.2 DETALHES CONSTRUTIVOS

Segundo Benevente (1995) em todas as construções podem-se indicar de maneira genérica pontos que são considerados críticos, ou seja, que estão sujeitos aos ataques dos agentes deterioradores. Uma forma preventiva a esses ataques estão na fase de projeto, no que diz respeito não somente a escolha adequada do material, as condições de uso, e as funções de

cada peça, mas também de detalhes construtivos realizados na fase de execução da obra, conforme a Figura 06.



1. Topo dos elementos estruturais
2. Ponto de concordância entre a parede e a cobertura
3. Interrupções nos planos verticais para aberturas (portas e janelas)
4. Primeiros elementos, interface fundação-primeiro piso
5. Desague dos telhados: (a) em área habitável; (b) em área de circulação
6. Madeira totalmente exposta
7. Arborização próxima à edificação
8. Elementos estruturais em contato com o solo
9. Faces de maior incidência solar
10. Planos de cobertura
11. Calçadas perimetrais
12. Área de maior proximidade com o solo

Figura 06. Representação esquemática dos pontos considerados mais susceptíveis – sistema pilar-viga.

Fonte: BENEVENTE (1995)

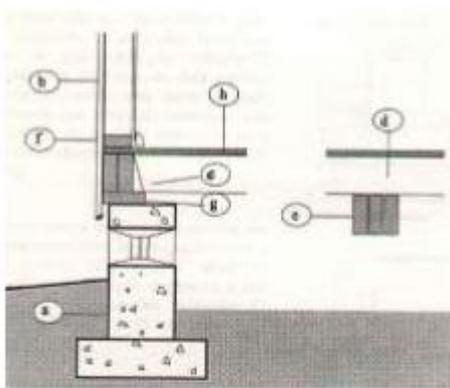
4.5.2.1 FUNDAÇÕES

A fundação em uma construção de madeira requer muitos cuidados, é considerado um dos pontos mais críticos, pois, está em contato direto com o solo, condição de uso desfavorável, considerada de alto risco para sua durabilidade.

Em construções de madeira deve-se impedir a transferência da umidade do solo (capilaridade) através de elementos de fundação para a madeira, assim como a migração de insetos xilófagos para a superestrutura.

A Figura 07 é um exemplo de detalhamento de fundação em sapata corrida. A abertura existente na sapata destina-se a ventilação do espaço entre a parte inferior do vigamento do pavimento térreo e o solo (melhor detalhado na Figura 08a) além da altura mínima recomendada entre o solo e a face inferior do vigamento (Figura 08b).

No caso das aberturas (Figura 08a), é importante o uso de algum mecanismo para impedir a entrada de animais, e as aberturas devem ser posicionadas de tal forma a permitir uma ventilação efetiva em toda a área. A altura mínima (Figura 08b) deve ser de maneira que permita visitas de inspeção à estrutura e aos equipamentos e/ou canalizações existentes.



Legenda

- (a) fundação
- (b) revestimento externo
- (c) conector metálico
- (d) vigota
- (e) viga mestra
- (f) soleira interior
- (g) frechal inferior
- (h) piso

Figura 07. Esquema geral de uma fundação em sapata corrida e a ligação com as paredes do edifício.

Fonte: SHERWOOD (1992) apud (BENEVENTE, 1995).

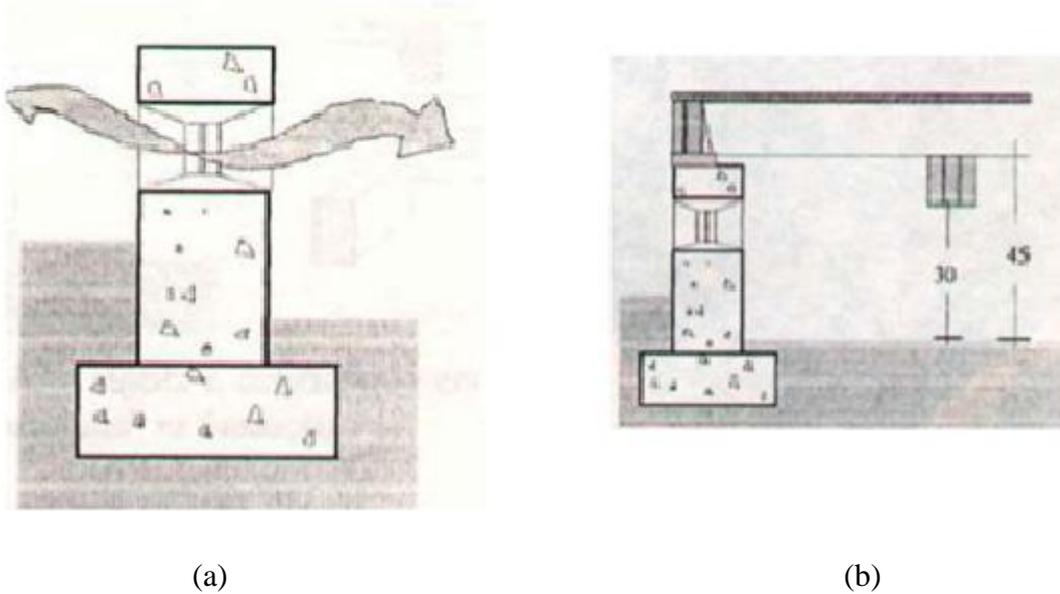
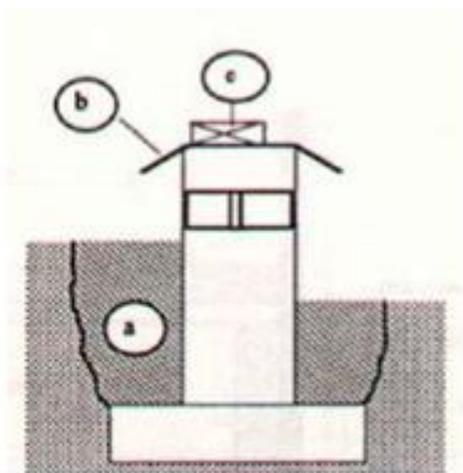


Figura 08. (a) Detalhe da abertura para a ventilação de áreas enclausuradas. (b) Espaçamento mínimo necessário para a proteção da madeira e para inspeção. Fonte: BENEVENTE (1995)

Ao longo de todo o perímetro da fundação, o solo precisa ser tratado quimicamente, e deve-se realizar uma proteção física contra a ação dos insetos, como se vê na Figura 09 a seguir.



Legenda

- (a) solo tratado quimicamente
- (b) escudos metálicos funcionando como barreira química
- (c) madeira tratada quimicamente ou de alta resistência natural

Figura 09. Exemplo de barreira física e química contra insetos. Fonte: BENEVENTE (1995).

4.5.2.2 SUPERESTRUTURA

Na superestrutura, o cuidado maior deve ser na fixação dos pilares junto a fundação, devido a proximidade do solo e o risco de umidade por capilaridade, além da exposição as intempéries. Uma alternativa para a prevenção contra a umidade, é impedir o contato direto da madeira utilizando conectores metálicos devidamente tratados contra corrosão, mantendo um espaço para a ventilação da base, facilitando a secagem da madeira e o escoamento da água, como se verifica na Figura 10.

É recomendável que se utilize ainda o tratamento químico da madeira.

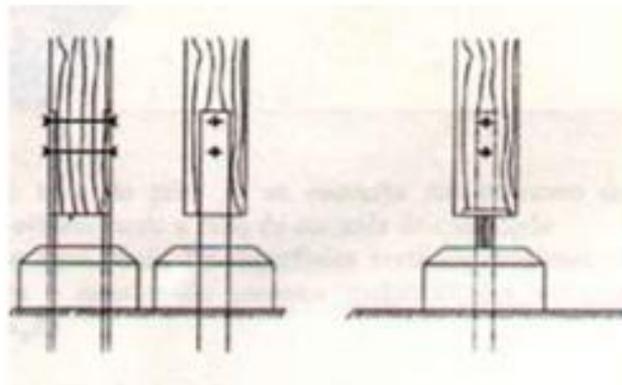


Figura 10. Exemplo de detalhamento da fixação de pilares de madeira. Fonte: BENEVENTE (1995).

4.5.2.3 VEDAÇÕES VERTICAIS

A madeira para as vedações verticais devem ser rigorosamente impermeabilizadas, impedindo a passagem de umidade do solo para a madeira. Deve-se executar uma parede de transição evitando assim a ação da umidade e a biodeterioração.

Outra providência é executar na faixa perimetral da construção uma calçada com inclinação que facilite o escoamento da água.

Na Figura 11, destaca-se ainda a execução de caixa de brita ao longo da linha de deságue do telhado, quando este não contar com calhas e condutores.

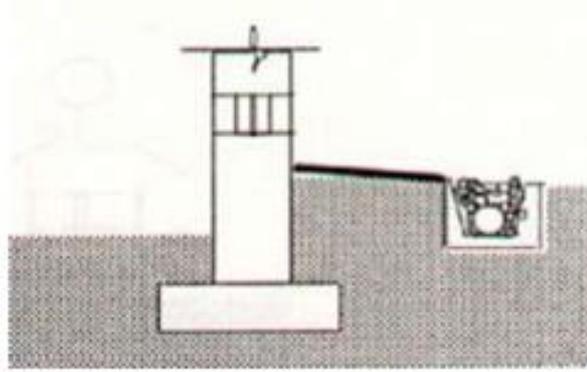


Figura 11. Detalhe de medida preventiva para a garantia da durabilidade: execução de calçada perimetral. Fonte: BENEVENTE (1995).

As paredes hidráulicas devem ser projetadas e executadas de modo a facilitar a inspeção e os cuidados rotineiros de manutenção e reposição das peças.

Para o escoamento rápido e eficiente das águas de chuva, é conveniente que os planos verticais de parede sejam interrompidos, nas mudanças de sentido do revestimento externo ou nas emendas dos materiais constituintes, através da utilização de pingadeiras metálicas, assim como sugere a Figura 12.

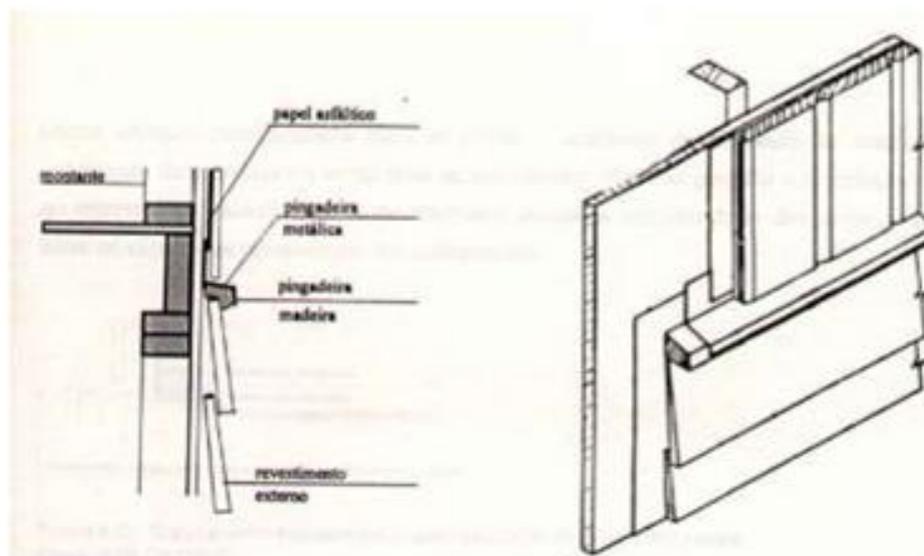


Figura 12. Cuidados relacionados à descontinuidade dos materiais de recobrimento externo: utilização de mesmo material, mas com tipologia e sentido de fixação diferenciado. Fontes: SHERWWOD (1992); JUNAC (1988) apud BENEVENTE (1995).

E finalmente a própria forma das fachadas das construções pode proporcionar a elas certa proteção, conforme ilustra a Figura 13.

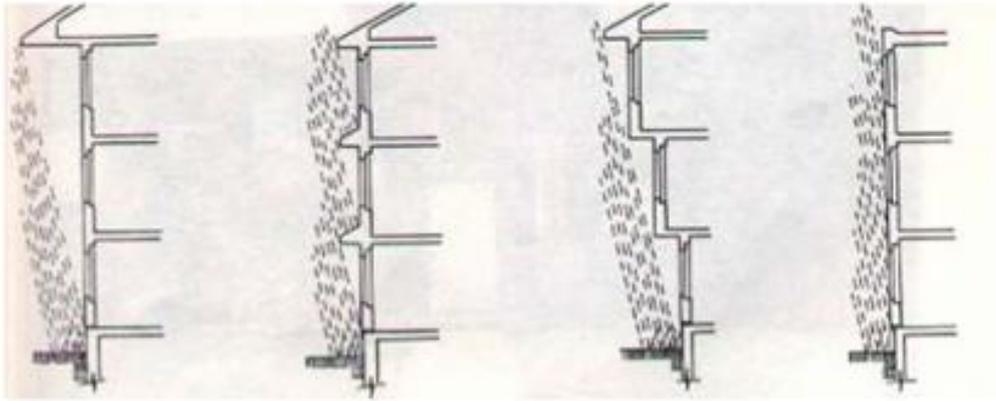


Figura 13. Proteção da madeira utilizada nas paredes pela forma da edificação. Fontes: KÜHNE (1966), JUNAC (1984) e (1988) apud BENEVENTE (1995).

4.5.2.4 COBERTURA

O subsistema cobertura feito em madeira é muito utilizado no Brasil, a grande maioria das casas tem sua cobertura feita nesse material. A principal maneira de manter a durabilidade é fazer a ventilação dos vãos resultantes da inclinação dos planos do telhado. Essa medida faz com que possa ser retirada a umidade do interior da construção e também pode facilitar a secagem dos possíveis umedecimentos da madeira. Na Figura 14 tem-se o exemplo um modelo de cobertura, que permite a passagem de ar e facilita a ventilação dos desvãos do telhado, melhorando as condições das peças de madeira utilizadas.

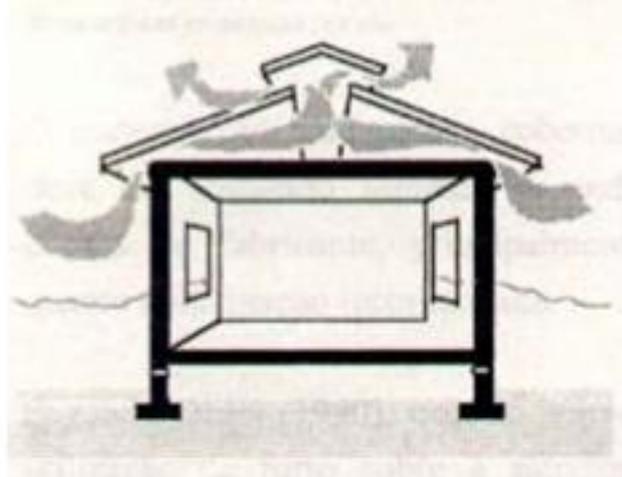


Figura 14. Desenho esquemático da possibilidade de ventilação dos desvãos dos telhados. Fonte: BENEVENTE (1995).

Um cuidado adicional deve ser tomado em peças de telhados próximas a rufos, calhas e telhas. Estas peças devem receber atenção especial no seu detalhamento e as que ficarão em contato direto com as telhas devem receber tratamento químico, além de terem a sua substituição facilitada (INO, 1997).

4.6 USO DE TRATAMENTO PRESERVATIVO

O uso de tratamentos químicos preservativos nas madeiras ganha cada vez mais espaço, pois associados a outros fatores como a adequação de projeto e a escolha correta do material, garantem a durabilidade da construção. É de grande importância que o responsável técnico conheça perfeitamente as classes de exposição, para que assim adote a melhor prevenção à sua estrutura.

Nahuz (2000) descreve que a preservação química é a mais conhecida e utilizada no campo da tecnologia da madeira, e esta técnica pode ser entendida como sendo a incorporação de produtos químicos em quaisquer peças, com a finalidade de retardar ou prevenir o ataque de organismos xilófagos.

Qualquer que seja o preservante utilizado, este deve ser quimicamente estável, e resistir as prováveis perdas por evaporação e/ou lixiviação. O preservante pode também

alterar as propriedades físicas e mecânicas da madeira alterando positivamente ou simplesmente não alterando suas características.

Outro requisito considerado essencial para o preservante é relativo ao custo que deve ser razoável, a fim de assegurar a competitividade da madeira preservada em relação a outros materiais. Por outro lado, a preservação química da madeira não pode ser considerada como custo adicional, mas como um investimento indispensável que traz benefícios e proporciona melhores condições de durabilidade à madeira, (PINHEIRO & LAHR, 2000).

Os preservantes nunca devem apresentar alteração na inflamabilidade e combustibilidade da madeira, assim como também não devem alterar a cor e o aroma do material.

De acordo com Campos (2000), é comum os preservantes de madeira serem agrupados em três categorias em função de sua natureza química, sendo classificados como: oleosos, oleossolúveis e hidrossolúveis.

Os preservantes oleosos são produtos derivados do alcatrão de hulha, já os oleossolúveis são produtos com misturas complexas de agentes fungicidas e inseticidas à base de compostos de natureza orgânica e/ou organometálicas, (IPT, 1986).

Um importante produto comercial de natureza química oleosa que têm como composição básica óleo derivado de alcatrão de hulha é o carbolineum ou óleo de antraceno. Este normalmente é aplicado na madeira pelo método preventivo sem uso de pressão artificial, (MACÊDO, 1991).

Em virtude da escassez dos derivados de petróleo, os preservantes de composição química que se enquadram como hidrossolúveis vêm assumindo uma importância significativa e ascendente na preservação da madeira, (ABPM, 2000).

Os preservantes hidrossolúveis são produtos contendo misturas de sais orgânicos metálicos e não metálicos, (IPT, 1986).

O preservante hidrossolúvel mais utilizada é o CCA (arseniato de cobre cromatado), pode ser encontrado em forma de sais, pastas ou líquidos, dentre esses, os sais são os mais usados.

O emprego do CCA tem vantagens e desvantagens, ele age positivamente quando reage com a lignina presente na madeira, fazendo com que haja repelência à água, mas por

outro lado a aplicação do CCA implica em uma perda de resistência e também da tenacidade da madeira.

Outro preservante hidrossolúvel utilizado é o CCB (Borato de Cobre Cromatado) que substituiu o arsênio pelo boro, em consequência dos possíveis perigos representados pelo arsênio.

Esse preservante pode ser fixado lentamente propiciando o tratamento de madeiras pouco permeáveis. Em contrapartida, o CCB fornece pequena resistência à lixiviação e ineficácia no combate à insetos considerando-se longos prazos, (IPT, 1986).

Em função das condições de agressividade biológica que o componente de madeira está sujeito na construção, a aplicação dos produtos preservantes poderá ser efetuada por meio de processos sem pressão (caseiros), bem como por processos com pressão (industriais), (ABPM, 2000).

No processo de tratamento sem pressão têm-se a impregnação superficial da madeira, ou seja, não há pressão externa aplicada forçando a penetração do preservante. Os principais processos de tratamento utilizados são por imersão rápida, imersão prolongada, substituição da seiva e banho quente – frio, (IPT, 1986).

O tratamento sem pressão por meio da imersão rápida consiste em imersão da madeira na solução preservante por um tempo muito curto, variando de poucos segundos à poucos minutos, (PINHEIRO & LAHR, 2000).

No tratamento por imersão prolongada, o teor de umidade da madeira influi na escolha do preservante a ser utilizado. Para madeira verde, devem ser utilizados preservantes hidrossolúveis que são absorvidos por meio do fenômeno de difusão.

Caso o teor de umidade da madeira a ser tratada esteja abaixo do ponto de saturação das fibras, é recomendável o uso de soluções oleossolúveis de baixa viscosidade, pois predomina a absorção do preservante por capilaridade, (IPT, 1986).

Por sua vez, o tratamento sem pressão com a substituição da seiva promove o deslocamento desta última por meio de uma solução hidrossolúvel. Não recomenda-se utilização dos preservantes de fixação rápida, tipo CCA, preferindo-se o uso daqueles formulados à base de elementos de baixa massa molecular, tipo CCB. Dois processos práticos podem ser utilizados para a realização deste tratamento: Transpiração Radial ou Processo Boucherie, (PINHEIRO & LAHR, 2000).

Um outro tratamento sem pressão bastante empregado é o do banho quente - frio utilizando-se principalmente preservantes oleosos. Consiste na imersão da madeira num recipiente contendo o preservante à uma temperatura entre 90 a 100°C. Espera-se a madeira equilibrar-se termicamente com a solução, pois ocorre expansão do ar presente nas células que é parcialmente expulso. Assim, a peça é transferida para um recipiente que contém o preservante à temperatura ambiente.

Desta forma, o ar remanescente da madeira se contrai e ocorre a absorção do líquido preservante, (IPT, 1986).

No processo com pressão têm-se a impregnação profunda da madeira permeável e um maior controle do preservante absorvido, resultando na garantia de uma proteção efetiva com economia do produto aplicado. Os processos são mais eficientes devido à distribuição e penetração mais uniforme do preservante na peça tratada. Todavia, tais processos apresentam algumas desvantagens como o custo do equipamento e sua manutenção, necessidade de mão-de-obra especializada e realização do transporte da madeira até a usina de tratamento, (MONTANA, 2000).

A madeira deve ser tratada à pressão quando se sujeitar às situações de agressividade biológica e/ou em situações de responsabilidade estrutural, como por exemplo: em contato com água do mar (imersa ou não), em contato com o solo, sujeita à fontes de umidade ou à situações de intensas intempéries. A madeira tratada à pressão é recomendada em quaisquer situações onde se queira obter maior durabilidade, (ABPM, 2000).

O tratamento com pressão é realizado em unidades industriais denominadas Usinas de Preservação de Madeiras – UPMs. Tais unidades possuem grandes cilindros horizontais, conectados às tubulações, bombas e tanques necessários.

Esses sistemas são conhecidos como autoclave, tratando-se de um equipamento que combina o uso do vácuo e da pressão ao produto químico. O tipo de produto preservante a ser utilizado é definido em função da utilização da madeira.

Os principais processos de tratamento da madeira com uso de pressões superiores à atmosférica são: o processo de célula cheia, que é o mais utilizado e o processo de célula vazia.

De um modo geral, em ambos os processos, a madeira é submetida a um período de secagem natural de aproximadamente três meses, cessando-se na obtenção de um teor de

umidade compatível à sua finalidade. Levadas ao pátio de trabalho, as peças são classificadas e recebem os acabamentos necessários, tais como desbaste, entalhe, furação, bisel, chanfro ou conectores, (IRPA, 2000).

4.6.1 TRATAMENTO PRESERVATIVO IN LOCO

Os tratamentos in loco devem envolver em aplicações de produtos químicos de preservativos para prevenir ou impedir biodeterioração dos elementos estruturais existentes. Normalmente são utilizados dois tipos de tratamento: tratamentos de superfície e fumigantes. Os tratamentos de superfície são aplicados para impedir a infecção na madeira exposta, enquanto que os fumigantes são utilizados para tratar a biodeterioração interna [(RITTER, 1990), (LELIS et al, 2001), (PRIETO et al, 2008) apud (BRITO, 2014)]. O tratamento in loco pode fornecer um método seguro, eficaz e econômico para prolongar a Vida útil em serviço de elementos estruturais de madeira.

4.6.2 TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE

Os tratamentos de superfície são aplicados aos elementos estruturais de madeira existentes, para proteger da biodeterioração, no elemento recém colocado ou para complementar o tratamento inicial, algum tempo após a instalação. Brito (2014) diz que esse tipo de tratamento é mais eficaz quando se aplica antes da ocorrência da biodeterioração e é comum o uso para o tratamento em fendas, fendilamentos, rachas, delaminações, danos mecânicos, em pontos localizados de furos ou cortes que foram fabricados em campo durante a construção, manutenção ou reabilitação.

A grande parte dos tratamentos de superfície é feito por líquidos preservativos, mas alguns preservantes estão disponíveis em graxas semi-sólidas ou pastosas.

4.6.3 FUMIGANTES

São utilizados para combater a deterioração interna, normalmente são aplicados em forma líquida em furos pré-perfurados. Os fumigantes volatilizam em gases tóxicos que se movem através da madeira, eliminando fungos apodrecedores e insetos. Os gases podem difundir na direção das fibras da madeira por cerca de 240 cm do ponto de aplicação em elementos verticais, já em elementos horizontais a distância alcançada é menor e o valor está compreendido entre 61 cm a 122 cm a partir do ponto de aplicação.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente foi realizado um levantamento bibliográfico referente ao uso da madeira nas construções brasileiras, dando enfoque aos conceitos de biodeterioração e preservação da madeira. Este trabalho buscou apresentar uma visão abrangente das condições físicas das construções em madeira, bem como dos parâmetros envolvidos no processo construtivo para o desenvolvimento racional do uso da madeira.

Deste modo, realizaram-se visitas técnicas em construções de madeira na cidade de Campo Mourão- PR, verificando-se os métodos utilizados para a preservação da madeira, os tratamentos, os métodos construtivos empregados e os tipos de deterioração ocorridos.

As visitas foram feitas em quatro construções distintas, a primeira visita (Obra 1) foi realizada, no Recanto do Criador, local utilizado para realizações de eventos em geral, que conta com um amplo salão de festas composto de cozinha e banheiros e um outro salão menor.

A segunda visita (Obra 2) foi realizada, em uma residência particular, na fase de construção, é um sobrado pequeno, e não houve visita no interior da casa, mas foi possível notar que o sobrado é feito totalmente em madeira com exceção do banheiro e do piso externo, a construção apresenta grandes problemas de execução e falha na escolha do material.

A terceira visita (Obra 3) foi realizada, no Parque Municipal Joaquim Teodoro de Oliveira conhecido como Parque do Lago da cidade de Campo Mourão – PR lugar público muito utilizado pela população da cidade para práticas de esporte e lazer. O Parque do Lago teve sua inauguração em 1971, e em todo o parque tem estruturas de madeira, algumas delas já foram restauradas como a ponte que passou por uma reforma.

A quarta visita (Obra 4) foi realizada, no Hotel O Recanto da cidade de Campo Mourão – PR , o hotel oferece aos seus hospedes um contato com a natureza em um ambiente rústico, aconchegante e refinado ao mesmo tempo, por essas razões o uso da madeira foi fundamental para criar toda essa atmosfera. O espaço é muito amplo, e o hotel tem cerca de 40 apartamentos, piscinas, restaurantes, entre outros espaços, e sua construção tem quatro

anos, toda a madeira utilizada recebeu tratamento e mesmo em condições desfavoráveis como intempéries e contato com o solo, estão em boa conservação.

A quinta visita (Obra 5) foi realizada, na chácara Adonai, localizada no lago da Usina Mourão. Não se sabe a idade exata da construção, segundo informações a casa tem mais de vinte anos e recebe manutenção anualmente. A chácara tem um sobrado composto de três dormitórios, sala, cozinha, banheiro, no primeiro pavimento e uma sala de jogos no segundo pavimento, além de área de lazer na parte externa.

A construção é praticamente toda feita em madeira com exceção do banheiro, do piso do primeiro pavimento e da área externa, onde somente a cobertura é feita em madeira. A obra 5 estava em ótimas condições de durabilidade apresentando poucos sinais de biodeterioração, principalmente por estar em um local onde a biodiversidade é maior assim como também o teor de umidade, pois a chácara esta nas margens de um lago.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como previsto, foram realizadas visitas em construções de madeira na cidade de Campo Mourão, a fim de conferir as técnicas construtivas utilizadas, os aspectos relacionados ao projeto e principalmente as condições de exposição de cada peça analisada. Serão tratadas a seguir situações comuns que acontecem na grande parte das construções de madeira e podem ter conseqüências negativas quanto à durabilidade e vida útil da construção.

O foco central da pesquisa foi a biodeterioração da madeira, em todas as visitas foram verificadas situações que ilustrassem os agentes degradadores e os ataques por organismos xilófagos, e como que o projeto e a execução de cada construção interferiram positivamente ou negativamente na ocorrência desse tipo de ataque.

Obra 1 :

Como descrito anteriormente a Obra 1 é o conjunto de varias construções de madeira, em lugares onde se usa a madeira para fins estéticos é comum encontrar as peças de madeira nas fachadas e na parte externa da construção. No caso da Obra 1, encontrou-se algumas peças com o contato direto da peça com o solo, tal situação deve ser evitada ao máximo, pois a umidade presente no solo é passada á madeira por capilaridade e o solo acumula substâncias orgânicas e microorganismos que podem levar ao apodrecimento da madeira. Na figura 15 a seguir percebe-se essa ocorrência, a base de um poste de iluminação feito em tora de madeira, colocado diretamente no solo , de acordo com o estudo de Campos (2000) e como ilustrado a Tabela 4, essa situação se classifica como classe de risco 4. Pois além de estar em contato direto com o solo, está sob intempéries. Condições que expõem o material a variações de umidade, aos resíduos orgânicos presentes no solo e também ao contato com raios ultravioletas.

Os efeitos causados por essa exposição são a retração da madeira, a criação de fungos, posteriormente a deterioração interna da peça e assim até a possível perda de resistência.



Figura 15: Poste de iluminação em contato com o solo. Fonte: O Autor

Outro aspecto muito importante observado na Obra 1 foi o projeto e a execução, pequenas mudanças podem ajudar ou prejudicar muito a durabilidade do material. Na figura 16, por exemplo, verifica-se uma calçada externa que contorna a edificação, essa calçada foi feita com a inclinação errada, sem visar a peça de madeira que está fixada a ela. A calçada é feita em concreto e revestida de placas cerâmicas e a peça de madeira é um rodapé. Em dias de chuva a calçada não fica protegida da água que se acumula rente ao rodapé devido a inclinação da calçada que foi feita no sentido para dentro da construção. Essa falha pode ser tanto na fase de projeto quanto na execução.

A peça de madeira analisada na Figura 16 tem a função de vedação externa, e foi colocada na posição perpendicular as fibras, com utilização de silicone para o acabamento e proteção. A peça está levemente manchada devido a umidade e já dá sinais da proliferação de fungos.

Não há contato direto da peça com o solo e também não há exposição as intempéries o que classificaria de acordo com a tabela de Classes de Risco, como classe de risco 1, porém devido a falha de execução da calçada externa a peça está em contato quase permanente com a umidade e assim a classe de risco correta é a classe 2.

O manchamento da peça é causado pela exposição a umidade, que cria o ambiente propício para que se instale fungos e esses se multipliquem podendo causar danos mais severos na peça.

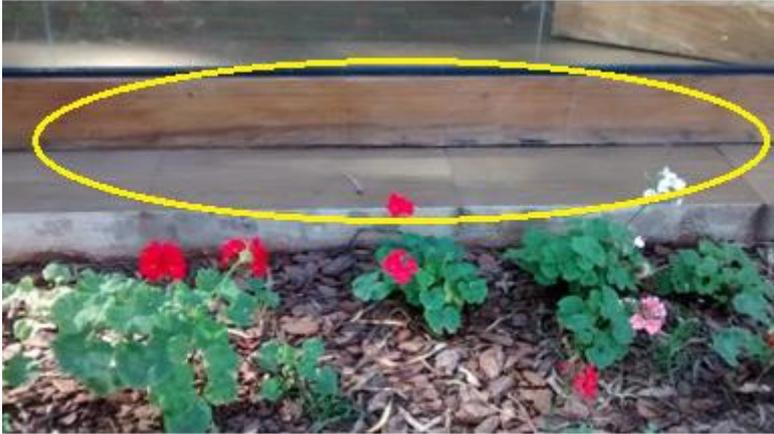


Figura 16: Rodapé externo em madeira. Fonte: O Autor

Na obra 1, houve a preocupação com o tratamento da madeira, esse tratamento pode ser feito anteriormente ou posteriormente do uso da madeira. E devem ser feitos de maneiras que possam proteger a madeira principalmente da umidade. No caso da Figura 17, as peças de madeira têm suas junções feitas com o uso da cola de silicone, que também fixa as peças ao chão, dando acabamento e proteção as peças. O material de todas essas peças são madeiras de demolição e tem como função a vedação interna.

Na Figura 17 é possível notar que a posição das peças influi diretamente na ação dos agentes degradadores da madeira. Uma peça é colocada na horizontal com o sentido das fibras perpendicular ao apoio, e a outra peça é colocada na vertical e as fibras quando estão nessa posição, facilitam o fluxo da umidade por capilaridade e dessa forma, a entrada de fungos e o leve apodrecimento da peça vertical. Como as peças estão no interior, protegidas das intempéries, mas não estão devidamente protegidas contra a reumidificação essa situação está na classe de risco 2, conforme a Tabela 04.



Figura 17: Rodapé interno e base de pilar em madeira de demolição. Fonte: O Autor

Grande parte da construção da Obra 1 foi feita com madeira reaproveitada, sendo assim normal o uso de várias peças de diferentes tamanhos e seções. O encaixe de cada peça é muito importante, caso não seja bem feito unindo as peças de maneira à não deixar nenhum vão entre elas, pode ocorrer a deterioração exatamente nesse ponto.

O que se percebe na Figura 18, é um pilar de concreto revestido com tábuas de madeira que estão em contato direto com o solo, sujeito a intempéries e com falhas na execução nas emendas laterais, que estão sem proteção. No caso, a única função da madeira é estética, nessa situação em que se encontra, sua durabilidade será muito reduzida, a madeira não apresenta indícios de que recebeu qualquer tratamento, as tábuas foram colocadas com o sentido das fibras na vertical, intensificando ainda mais a ação da umidade. E na região das emendas, por não ter nenhum tipo de proteção, a água da chuva penetra e mantém a umidade na região, favorecendo o surgimento de fungos.

Por serem peças mais esbeltas, a exposição de intempéries causa danos em um espaço de tempo menor do que em outras peças. Esse tipo de peça é bem menos resistente quando comparado com a madeira em tora, por sua seção ser menor, o ataque de fungos e bactérias é mais rápido e será necessária a troca da peça em pouco tempo para se manter as condições iniciais.

De acordo com a Tabela 04, peças como as da Figura 18 são classificadas na classe de risco 4.



Figura 18: Detalhe do contato das peças de madeira com o solo. Fonte: O Autor

Como já mencionado a Obra 1 é basicamente feita com madeiras reaproveitadas, ultimamente vem sendo bastante empregado o uso dessas madeiras, e alguns cuidados são necessários quando se realiza essa prática, como por exemplo, pequenas rachaduras que a madeira já pode ter e também pregos que podem continuar na superfície da peça ou serem retirados além de peças que podem ter sofrido algum desgaste por esforços mecânicos.

As Figuras 19 e 20 são exemplos de construções que reaproveitaram a madeira, o pilar de concreto, em base também de concreto, ambos foram revestidos com tábuas de madeira reaproveitada, o material está desprotegido, não foi aplicado nenhum produto preservativo e as emendas são feitas somente por encaixe das peças, que são fixadas com pregos metálicos. As peças estão em exposição às intempéries e desprotegidas contra a reumidificação, pois existem espaços entre uma peça e outra que não foram vedados.

Como o material é reaproveitado, já existiam algumas fendas causadas por pregos metálicos, alguns ainda continuam cravados em regiões aleatórias da peça, nessas regiões podem-se desenvolver fungos e rachaduras maiores devido a exposição à variação das condições climáticas.

A classe de risco mais adequada nessa circunstância é a classe 3, de acordo com a Tabela 04.



Figura 19: Detalhe dos pequenos vãos entre as peças de madeira. Fonte O Autor



A

B

C

Figura 20: Peças de madeira reaproveitadas com defeitos. Fonte: O Autor

Na Figura 20 a) verifica-se um pilar de concreto revestido de tabuas de madeira reaproveitada, nesse caso a madeira já apresenta sinais de ataque de insetos xilófagos, mas percebe-se que foi aplicado verniz ao material. Por ser um pilar frontal que esta na fachada da edificação, há uma grande exposição às intempéries e também nota-se a presença de pregos metálicos em lugares aleatórios que causam a deterioração da peça. Sendo assim, seguindo os estudo de Campos (2002), se enquadra na classe 3.

Nas Figuras 20 b) e 20 c) são vistas peças em madeira maciça reaproveitada, utilizadas como apoio lateral para as placas de vidro, ambas as peças estão protegidas das intempéries e isoladas do solo, de acordo com a Tabela 4, classificadas como risco 1 .

O agravante verificado nas Figuras 20 b) e 20 c) são as falhas de execução e de escolha do material, na figura 15B já existem grandes fendas causadas pelos pregos metálicos, que foram arrancados, e outras por pregos que ainda estão fixados na superfície do material. Na figura 20 c) as rachaduras são causadas pela separação das fibras, muito provavelmente essa peça foi exposta a grandes esforços mecânicos. Em ambas as situações, caso as peças entrem em contato direto com a água, esse contato será altamente prejudicial, pois como já existem rachaduras, criará o ambiente necessário para a proliferação de organismos xilófagos.

A falta de acabamento prejudica a durabilidade da madeira principalmente quando estão expostas as intempéries, na Figura 21, é possível notar que a madeira utilizada é a madeira serrada, a superfície desse material não é lisa e uniforme, o que facilita a retenção de água.

As peças de madeira são reaproveitadas sem nenhuma proteção, acabamento e tratamento preservativo. Estão isoladas do solo e altamente expostas às intempéries. Nessa imagem (Figura 21) é possível verificar manchas em quase todas as peças, principalmente onde estão fixados os pregos metálicos. Nessas regiões a umidade consegue chegar mais à fundo da peça e assim facilitar a entrada de fungos e insetos xilófagos, essas manchas são causadas por fungos de diferentes espécies.

De acordo com a Tabela 04 a situação da Figura 21 se enquadra na classe de risco 3.



Figura 21: Peças de madeira com manchas nas regiões que há pregos. Fonte: O Autor

Obra 2:

A Residência da Obra 2 é feita inteiramente em madeira, esse tipo de construção já foi muito utilizada na região de Campo Mourão - PR, ultimamente é muito difícil encontrar residências de madeira em fase de construção, e quando encontra a grande maioria é feita em pré-moldado por de ter maior qualidade da construção, pois é feita por profissionais especializados o que não aconteceu no caso da Obra 2, a residência está sendo construída sem a utilização de pré-fabricados.

Na Figura 22 têm-se a fachada da residência feita em madeira com peças de formatos variados, com falhas de execução, arestas desprotegidas e desencontradas, além de emendas feitas com o encaixe das peças fixadas com pregos metálicos (emendas mal feita com uma peça sobressalente e espaço entre uma e outra sem vedação, que funcionam como fendas na madeira). Nessa figura têm-se peças que estão sob abrigo protegidas da chuva, mas não da radiação solar e peças que estão completamente expostas às intempéries. Considerando a pior situação a classe de risco 3 da Tabela 04, é a mais adequada. Os erros de execução citados são graves, pois de acordo com a Tabela 07, de causas e efeitos, é evidente que uma ação acarreta vários efeitos chegando-se ao pior cenário de perda da resistência mecânica da peça.



Figura 22: Falhas de emendas. Fonte: O Autor

Em relação a projetos de edificações de madeira, é importante que sejam observados vários aspectos, o cálculo estrutural é o primeiro aspecto a ser considerado, a madeira é um material anisotrópico e essa característica deve sempre ser levada em consideração quando se faz um projeto. Na Figura 23 nota-se uma rachadura em toda extensão do pilar principal da edificação com função estrutural muito importante (ponto de sustentação da sacada) com falha no projeto, apresentando separação das fibras devido ao esforço de compressão. Essas rachaduras são possíveis pontos para a entrada de organismos xilófagos e da biodeterioração da peça. O pilar está isolado do solo, mas está sujeito as intempéries e desprotegido contra a reumidificação.

A madeira recebeu tratamento preservativo, mas a grande maioria desses tratamentos está na superfície da peça, quando acontecem as rachaduras independentemente do motivo o tratamento já não funciona mais e o material fica exposto à ação dos agentes degradadores. O caso desse pilar está na classe de risco 3, de acordo com a Tabela 04.



Figura 23: Pilar com rachaduras longitudinais. Fonte: O Autor

A escolha da madeira também faz parte da fase de projeto, as características de cada espécie têm que ser consideradas, pois existem madeiras mais resistentes, mais porosas e cada uma deve ter sua finalidade.

O forro da cobertura externa (Figura 24) feito em madeira inapropriada está com falhas na execução e protegido das intempéries, porém está em contato direto com a fonte de umidade que vem da calha que está apoiada em uma das peças.

O erro nesse caso foi na escolha do material, que utilizou uma madeira de baixa qualidade para um fim definitivo, vale ressaltar que a residência ainda está em fase de construção e que apresenta falhas graves em todas as partes. Nessa imagem (Figura 25) é claro o grande encurvamento de uma das peças deixando um espaço no encontro com outra peça.

O forro está Classe de risco 2, conforme a Tabela 04.



Figura 24: Forro da cobertura externa. Fonte: O Autor



Figura 25: Falha do telhado. Fonte: O Autor

Obra 3:

A Obra 3 é composta por várias estruturas de madeira, ao ar livre, em construções que vão ficar em partes externas sob o tempo, é comum o uso das madeiras em toras. Elas são mais resistentes por terem uma seção transversal mais robusta, porém não estão livres de cuidados como se podem ver na Figura 26, as toras estão todas pintadas, a tinta ajuda na proteção superficial das peças.



Figura 26: Toras de madeira pintadas. Fonte: O Autor

É importante também o isolamento das bases das toras do chão, mesmo a base sendo de concreto nesse caso não se deve fazer o contato da madeira com o chão, pois o local é muito úmido e pouco ventilado, na Figura 27 tem-se o detalhe do método construtivo utilizado, as chapas metálicas fixadas nas toras e na base de concreto deixando a peça de madeira cerca de dois centímetros da base.



Figura 27: Detalhe das chapas metálicas. Fonte: O Autor

Mesmo com os cuidados e a correta execução, as peças de madeira podem estar vulneráveis e sendo assim há a possibilidade de acontecer ataques biológicos na madeira. Como já descrito o local é muito úmido o que favorece a proliferação de fungos e outros organismos que atacam a madeira, na Figura 28 nota-se o crescimento de um vegetal entre a chapa metálica e a tora de madeira, além de fungos instalados na base de concreto.



Figura 28: Detalhe da proliferação de fungos em pilar de madeira. Fonte: O Autor

Analisando a Figura 28, é possível perceber que a base do pilar de uma estrutura em madeira roliça, está isolada do solo e o pilar foi fixado com chapas metálicas. A peça de madeira apresenta indícios de biodeterioração e proliferação de organismos xilófagos.

A execução dessa estrutura foi feita de forma correta, porém as condições do local não favorecem a durabilidade da madeira, pois umidade é constante e a estrutura está localizada em área de mata. Há também exposição a intempéries, e a proteção das toras que estão pintadas, mas como para fixar as chapas de metal é necessário perfurar a madeira, cria-se um ponto de entrada de umidade e de ataques dos organismos deterioradores.

Na Figura 29, nota-se a deterioração na parte inferior das toras, ao fazer-se uma avaliação tátil, percebe-se a perda de resistência mecânica da peça pelo apodrecimento superficial da peça. Como a seção da peça é grande, não há comprometimento da estrutura até o momento. As Figuras 26, 27, 28, e 29 estão na classe de risco 3, de acordo com a Tabela 04.



Figura 29: Pilares em madeira roliça em ambiente úmido. Fonte: O Autor

Outro detalhe muito observado na Obra 3, foram as emendas feitas com a madeira roliça. Cuidado indispensável que se deve ter principalmente em estruturas deste tipo. As emendas são muito importantes, pois as toras de madeira tendem a se abrir nas extremidades ou em cortes e criam rachaduras ao longo de todo o comprimento da peça.

Na Figura 30 nota-se exatamente essa situação. A emenda de toras de madeira na parte superior da estrutura foi feita de maneira incorreta, deixando a peça desprotegida e exposta aos agentes degradadores. Nessa imagem, identificam-se fendas e a abertura da superfície que foi cortada para o encaixe das peças. O material se encontra em uma região muito úmida e está exposto às intempéries, nesse ponto de encontro das duas peças é provável a ocorrência de ataque de organismos xilófagos. Todas as peças foram pintadas, isso ajuda a proteção externa da peça, pois faz uma camada que funciona como impermeabilizante, isolando a madeira da ação da água, quando se realiza uma emenda é necessário o entalhe da madeira, e assim também se torna necessário o cuidado com o centro da peça, que fica desprotegido, o correto seria utilizar conectores metálicos.

A classificação segundo a Tabela 04, é que a situação da Figura 30, pertence a classe de risco 3.



Figura 30: Detalhe da união de duas peças de madeira roliça. Fonte: O Autor

A ação dos organismos deterioradores da madeira é fácil de ser percebida, em geral eles deixam a madeira com manchas que podem ter diversas colorações. Na Figura 31 (A), tem-se a imagem de uma espécie de fungo conhecido como lodo que se instalou no espaço entre três peças. Nas Figuras 31 (B) e 31 (C) percebem-se várias manchas brancas que também são uma espécie de fungo, que se fixaram na superfície das peças de madeira.

As figuras citadas são de uma ponte de estrutura mista, a fundação em concreto, com treliças de sustentação em aço, e o tabuleiro e o guarda corpo em madeira, a estrutura está em contato permanente com a umidade e exposta as intempéries.

O material aparenta não ter recebido tratamento preservativo, todas as ligações foram feitas utilizando-se pregos metálicos e a estrutura está em serviço, sendo utilizados todos os dias, com um fluxo razoável de pessoas.

Nesse tipo de caso é importante fazer sempre a manutenção das peças, a classe de risco é a classe de risco 3, de acordo com a Tabela 04.

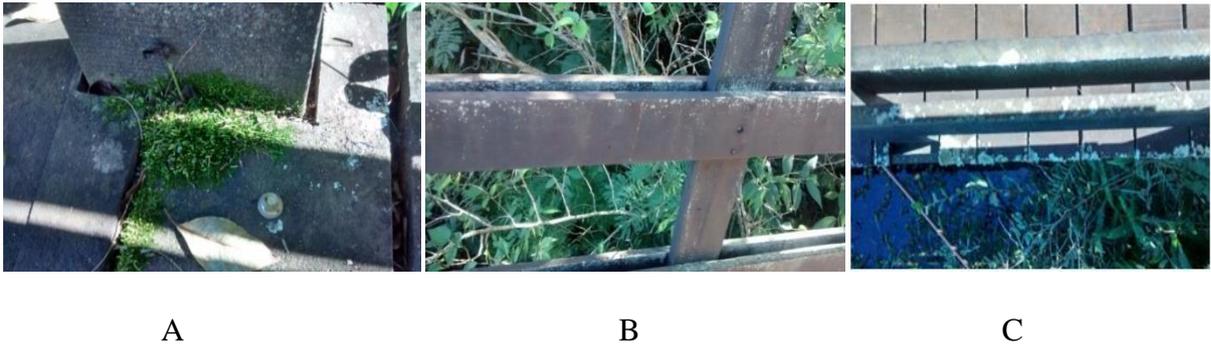


Figura 31: Detalhes de ataques biológicos em uma ponte de madeira. Fonte: O Autor

Em peças colocadas na posição vertical é comum aparecerem as manchas na região inferior por estarem mais próximas ao solo ou por efeito da capilaridade, na Figura 32, pode-se perceber a ação de fungos nas bases dos pilares feitos em madeira roliça, mesmo esses estando fixados às bases de concreto. Os pilares estão sob as intempéries e apresentam grande biodeterioração, nesse caso conhecida como podridão parda, causada por uma espécie de fungo que ataca a celulose e deixa a lignina de cor marrom. Também surgem rachaduras perpendiculares, ao longo da direção das fibras, diminuindo em muito a resistência da peça, e ocorre uma diminuição progressiva da massa da madeira, diminui a densidade.

Na Figura 32, as peças já estão bem deterioradas e soltando fragmentos, é importante dizer que essa estrutura está interdita. Todos esses pilares foram envernizados, porém com a ação dos raios ultravioleta, essa camada começa a rachar e se soltar a madeira, essa camada tem que ser reposta de tempo em tempo sempre que necessário o que não aconteceu no local. Conforme a Tabela 04 a classe de risco 3 é a que se enquadra esse caso.



Figura 32: Pilares de madeira com base de concreto. Fonte: O Autor

Em qualquer estrutura, é necessária a manutenção das peças e em alguns casos a substituição de alguma peça que esteja danificada afim de não comprometer o restante da estrutura. Na Figura 33 tem-se uma estrutura (interditada) em madeira roliça e tábuas de madeira de um mirante, que está inteiramente deteriorada, com manchas esbranquiçadas de bolor e manchas conhecidas por podridão parda, com algumas peças já completamente danificadas. A observação da Figura 33 revela a importância da manutenção em estruturas de madeira. Todas as toras de madeira vêm com um anel metálico em cada extremidade preso em volta da seção e também com uma tela metálica chamada de “Gang Nail”, fixada em cada extremidade no corte da seção. Na Figura 33, as toras não estão com o anel e nem com a tela, ambos ajudam o material a resistir as tensões solicitadas e a não se romper e causar rachadura ao longo de toda a peça. Esses acessórios quando danificados devem ser substituídos e não retirados como se pode notar, na Figura 33, o detalhe de uma peça de madeira roliça, que está sem a tela e sem o anel de proteção. Na Figura 34 é possível ver claramente os furos de onde estava fixada a tela e como a peça está danificada e completamente exposta. No interior da fenda da Figura 34, é nítida a ação de insetos xilófagos, e essa abertura da extremidade da peça faz com que essas fendas se prolongasse por toda a extensão da mesma.

Há também uma mancha escura em toda a seção resultado da ação da umidade, a peça está colocada na horizontal isolada do solo, mas sujeita as intempéries, o que classifica como classe de risco 3, segundo a Tabela 04.

O local é relativamente úmido, pois está perto de fontes de umidade, mas é bem ventilado e a estrutura está completamente isolada do solo, mas totalmente exposta às intempéries e com as rachaduras o material fica desprotegido contra a reumidificação, causando ainda mais danos. A classe de risco 3 é a que pertence essa situação de acordo com a Tabela 04, para a Figura 33.



Figura 33: Mirante do Parque do lago. Fonte: O Autor



Figura 34: Fenda em peça de madeira roliça. Fonte: O Autor

Em ambientes externos como a Obra 3, são de grande importância os aspectos de projeto, o espaçamento entre as peças de madeira, para que assim possa haver ventilação entre elas e a fácil secagem após dias de chuva, como é o caso da Figura 35. A parte inferior da passarela de um mirante foi feita em tábuas de madeira, o local é arejado e existe um distanciamento entre cada peça, o que protege contra a reumidificação. Mesmo tendo esse cuidado, observa-se entre a peça horizontal e as verticais uma grande mancha branca, que é uma espécie de fungo que se instalou nessa região.

A estrutura está sob intempéries e não apresenta sinais de algum tipo de prevenção, essa estrutura se encontra fora de uso e de acordo com a Tabela 04 essa situação se descreve na classe de risco 3.



Figura 35: Passarela feita toda em madeira. Fonte: O Autor

Como já apresentado nesse trabalho, o cuidado com peças de função estrutural deve ser redobrado, mais ainda quando a peça está sob a ação das intempéries, como no caso da Figura 36, que a peça de madeira roliça com função estrutural apresenta uma rachadura no centro ao longo de toda a seção longitudinal. O pilar está apoiado a uma base de concreto muito acima do nível do solo, não tendo nenhum contato com o mesmo, mas está exposto às intempéries. Nesse caso não se sabe o motivo da rachadura, que também pode ter sido causada por esforços mecânicos, mas a questão é que uma vez contendo tamanha rachadura, é certa a perda da resistência, por vários fatores, inclusive a deterioração interna da peça

causada pela umidade e crescimento de fungos. A classe de risco 3 é onde se adéqua essa situação, seguindo-se a Tabela 04.



Figura 36: Rachadura em pilar. Fonte: O Autor

Em muitos casos as medidas preventivas não são suficientes, quando ocorre algum erro de execução ou, a utilização de material danificado, a única opção é fazer a troca da peça como, por exemplo, a peça ilustrada na Figura 37 que é o detalhe de uma peça em madeira roliça que ainda está com o anel metálico, mas mesmo assim está com grande rachadura, a peça está colocada na posição horizontal e ainda não apresenta ações dos agentes degradadores. A peça está sob as intempéries e pertence à classe de risco 3, conforme a Tabela 04.



Figura 37: Peça de madeira com anel metálico. Fonte: O Autor

Obra 4:

A Obra 4 foi construída recentemente, e apresenta parte da construção no ambiente externo como a rampa da Figura 38. Essa rampa é um acesso feito inteiramente de madeira, algumas peças em toras outras em tábuas e ainda peças retangulares nos corrimãos e na sustentação do tabuleiro. Todas essas peças receberam tratamento adequado, não se vê nenhum sinal de deterioração e nenhum desgaste na madeira.

Apesar de recente, o desempenho é muito bom e a aparência está intacta. As toras de madeira estão em contato direto com o solo o que gera a transferência da umidade do solo (capilaridade), assim como a migração de insetos xilófagos para as demais peças.

Todo o restante da estrutura está exposta as intempéries, segundo essa descrição a rampa pertence a classe de risco 4 de acordo com a Tabela 04.



Figura 38: Rampa de acesso feita em madeira. Fonte: O Autor

Na Figura 39 tem-se um pergolado, todo em madeira, com as colunas fixadas em base de concreto, e as demais peças fixadas com parafusos metálicos.

São vários pergolados, um ao lado do outro, entre cada peça há um espaçamento a fim de obter a ventilação e a secagem de cada peça. A madeira utilizada recebeu tratamento, e esse à protege das intempéries que a estrutura está exposta.

Sendo assim, de acordo com a Tabela 04, a estrutura da Figura 39 pertence a classe de risco 3.



Figura 39: Pergolado de madeira. Fonte: O Autor

Não é recomendável fazer a execução de qualquer estrutura imergindo a peça de madeira no concreto, o correto é utilizar chapas metálicas para fazer essa ligação. Na Figura 40, vê-se uma tora de madeira sendo utilizada como pilar central da estrutura de um quiosque, como se pode perceber, o pilar está imerso no concreto, protegido das intempéries pela própria cobertura e nesse caso não foi utilizado nenhum tratamento da madeira que como é notado está com a casca para fins estéticos.

Dessa forma, mesmo estando em ambiente externo, a classe de risco em que se adéqua essa situação é a classe de risco 2, de acordo com a Tabela 04.



Figura 40: Tora de madeira reaproveitada. Fonte: O Autor

Na Figura 41 têm-se um quiosque ainda em fase de construção, onde várias peças de madeira formam a cobertura, a maioria delas unidas por entalhe, chamando a atenção à ligação central de duas tábuas, fixadas com pregos metálicos. As peças não foram tratadas e não estão expostas as intempéries, porem há contato permanente com a umidade que pode ser por condensação ou até mesmo por algum pequeno vazamento da cobertura, tais características confere a classe de risco 2 da Tabela 04.



Figura 41: Estrutura da cobertura de um quiosque. Fonte: O Autor

No ambiente interno da Obra 4, a madeira é empregada com mais requinte e sofisticação, recebendo tratamento e cuidados periódicos.

Na Figura 42, tem-se uma escada toda feita em madeira maciça. Essa escada liga dois ambientes, está coberta, mas não há proteção nas laterais e está apoiada junto ao solo. A escada está protegida contra as intempéries e em contato direto com o solo. A madeira recebeu tratamento preservativo, mas mesmo assim contêm fendas resultantes dos ataques de insetos xilófagos.

Não se nota a ação da umidade nesse local, é bem arejado e não há nenhum sinal de fungos e outros organismos que agem devido ao excesso de umidade. Sendo classificada como classe de risco 4 de acordo com a Tabela 04.



Figura 42: Escada em madeira com detalhe da deterioração. Fonte: O Autor

A Figura 43 se refere a lateral da escada apresentada na figura 42, é possível notar que os apoios são de madeira e estão em contato direto com o solo. A umidade que o solo transmite por capilaridade e facilmente passada as demais peças, e sendo assim pertencema classe de risco 4.



Figura 43: Detalhe lateral da escada. Fonte: O Autor

Na Figura 44 tem-se uma passarela de acesso, é possível identificar o modo correto de execução de estruturas de madeira. A primeira parte, no lado esquerdo da figura, onde todas as peças estão isoladas do solo e há um vão entre o solo e a passarela permitindo assim a ventilação das peças e a conservação delas. As bases são feitas em concreto e as madeiras foram tratadas mesmo estando sobre abrigo e protegida contra as intempéries.

Já no canto direito da imagem a passarela está em contato direto com o solo, e as peças são de seções esbeltas facilitando a ação dos agentes degradadores. Assim também se classifica como classe de risco 4.



Figura 44: Apoios da passarela. Fonte: O Autor

Na Figura 45, tem-se a cobertura interna da recepção do hotel, como se pode perceber a estrutura é toda feita em madeira, com as vigas também em madeira com uma seção transversal de dimensão notável.

A estrutura está em ótima condição, as madeiras foram tratadas e a cobertura foi muito bem executada, como está em ambiente interno e protegida das intempéries, esta estrutura está na classe de risco 2.



Figura 45: Cobertura interna em madeira. Fonte: O Autor

Obra 5

A obra 5 é uma chácara destinada principalmente para práticas de lazer, a Figura 46 refere-se a sala de jogos do segundo pavimento do sobrado, como pode-se notar o local não tem laje e a cobertura é a própria cobertura do sobrado. O pé direito é baixo utilizando a inclinação elevada do telhado, toda a estrutura é feita em madeira e algumas peças com entalhes. A madeira recebeu pintura, e, portanto sua superfície esta parcialmente protegida principalmente da umidade da chuva.

Ainda na sala de jogos, (Figura 47) evidencia-se o guarda-corpo e o piso do local, ambos de madeira, o piso é feito em assoalho e recebeu verniz alem de ser tratado frequentemente com ceras específicas que promovem um aspecto brilhante à madeira. O guarda-corpo foi feito com peças próprias e também recebeu verniz como acabamento.

Em ambas as situações, tanto da Figura 46 como da Figura 47, a madeira utilizada não está exposta a fontes diretas de umidade, somente algumas peças sofrem com a incidência de raios ultravioletas. Essas características fazem com que essas condições se encaixem nas classes de risco H1 e H2 seguindo o guia de avaliação de classe de risco na Tabela 05. Sendo os principais agentes causadores da biodeterioração as brocas e os térmitas.



Figura 46: Cobertura interna do sobrado. Fonte: O Autor



Figura 47: Guarda-corpo e piso de madeira. Fonte: O Autor

Ainda no mesmo espaço, verificou-se a junção das peças feitas basicamente por entalhes como se vê na Figura 48. O entalhe não foi realizado com precisão e é notável o vão existente entre as peças, também é possível notar nessa imagem algumas peças plásticas colocadas nos vãos deixados pelas telhas, com a finalidade de fazer uma barreira física contra animais de pequeno porte como aves e roedores.

Na Figura 49, as condições não são muito diferentes, o ambiente da figura se encontra no primeiro pavimento, é um dormitório onde as paredes e o forro são de madeira. Como o ambiente é interno está protegido das intempéries, e também como a base é feita de alvenaria tradicional e o piso é cerâmico, não há contato com a umidade proveniente do solo.

O detalhe maior da imagem é para as esquadrias de madeira e para a instalação elétrica do ambiente que foi feita externamente através de conduítes plásticos, prejudicando a estética do ambiente. As esquadrias de acordo com a Tabela 05 pertencem à classe de risco H3, pois estão sujeitas aos periódicos umedecimentos moderados e lixiviações. O restante do cômodo pertence a classe de risco 1 de acordo com a Tabela 04.

A situação descrita referente a Figura 49 é pertencente a classe de risco 2, com base na Tabela 04.



Figura 48: Entalhe do apoio. Fonte: O Autor



Figura 49: Interior da residência em madeira. Fonte: O Autor

A área externa do local é ampla e conta com uma grande cobertura ao redor da residência, de modo a ter-se então um alpendre. Nesse ambiente as peças de madeira estão isoladas do solo e sob abrigo, mas não estão protegidas contra fontes de umidade e tem-se que estudar a possibilidade de reumidificação da madeira por meio de água de condensação ou simplesmente por pequenos vazamentos de água, como descreve a Tabela 04, na classe de risco 2. Na Figura 50, percebe-se uma situação como essa, as peças que compõe a estrutura do telhado podem sofrer com pequenos vazamentos e com a condensação da água.



Figura 50: Cobertura externa. Fonte: O Autor

Em casos de fachada, o material sempre fica exposto às intempéries, e nesse caso não é diferente, na Figura 51, tanto a madeira utilizada como vedação externa como as esquadrias e os pilaretes, estão expostos diariamente a incidência de raios ultravioletas causando retração da madeira de acordo com a tabela de causas e efeitos do intemperismo (Tabela 07), além da presença freqüente de umidade, podendo ter ataques de fungos, brocas e térmitas de acordo com a Tabela 09.

De modo geral, a fachada está na classificada como classe de risco 3, seguindo a Tabela 04. Como a edificação recebe manutenções periódicas, o material não tem nenhum sinal de biodeterioração, as madeiras utilizadas como vedações estão pintadas assim como os pilaretes, e as esquadrias receberam verniz.



Figura 51: Fachada frontal de residência em madeira. Fonte: O Autor

Na Figura 52, tem-se em destaque um indício de deterioração na base de um dos pilaretes que sustentam a cobertura externa. A peça não está em contato com solo, mas como já descrito anteriormente na Figura 51, está exposto às intempéries, e a causa desse início de deterioração são agentes abióticos, resultado de ações físicas como é apresentado na Tabela 07.

A classificação dessa peça segundo a Tabela 04, é classe de risco 3.



Figura 52: Detalhe da base de um pilarete, com indícios de deterioração. Fonte: O Autor

Na Figura 53 a seguir, tem-se o detalhe de pequenos furos eqüidistantes na parte inferior da edificação. Esses furos têm a finalidade de realizar a secagem da madeira e proporcionar uma ventilação maior no interior da construção, protegendo assim de apodrecimentos causados pela umidade.



Figura 53: Detalhe construtivo na parte inferior da parede. Fonte: O Autor

Durante a visita da obra 5, um portão de outra residência chamou atenção pelo nível de deterioração na base do mesmo, como se verifica na Figura 54 (b), dessa forma é possível realizar uma comparação entre as Figuras 54 (a) e 54 (b). Na Figura 54 (a), tem-se a imagem do portão de entrada da chácara onde foi realizada a visita, é notável a boa conversação do material e como foi executado de forma correta e que também foi utilizado métodos de prevenção contra as deteriorações.

Como detalhe construtivo percebe-se o vão deixado entre o solo e o portão, esse vão é muito importante para proteger a madeira contra a reumidificação, facilita a ventilação e isola a madeira da umidade proveniente do solo. O portão da Figura 54 (a) foi envernizado e recebe manutenções com frequência.

Na Figura 54 (b) notam-se manchas por todo o portão, mas principalmente na parte inferior. O portão não está em contato com o solo, porém não há o vão entre o solo e as peças de madeira, assim acontece o contato com a umidade, a deterioração nesse caso já está pronunciada, com destaque pode-se perceber na Figura 55 a ação dos organismos xilófagos, como a proliferação dos fungos manchadores e a perda de fragmentos.

Ambos os portões estão sob efeito das intempéries, tal situação se descreve na classe de risco 3 de acordo com a Tabela 04.



Figura 54: comparação entre dois portões de madeira. Fonte: O Autor



Figura 55: Ação da biodeterioração em portão de madeira. Fonte: O Autor

7 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que após a revisão bibliográfica e os estudos de campo realizados, foi possível constatar que as propriedades físicas de cada espécie de madeira alteram o seu comportamento diante dos ataques dos agentes degradadores. De todas as propriedades pode-se destacar o teor de umidade como fator primordial de influência para os ataques de organismos xilófagos. Outra propriedade de grande importância é a densidade, em geral as madeiras mais densas são também as mais resistentes, porém mais difíceis de receber tratamento preservativo devido a dificuldade de penetração em seus poros.

A madeira por ser um material muito versátil, é empregada para diversos fins e as condições de exposição são muito variáveis. Verificaram-se nas visitas as classes de risco citadas na bibliografia, de maneira geral as peças de madeira estavam em condições desfavoráveis à sua durabilidade, estando em contato com fontes de umidade permanente, muitas vezes sob ação das intempéries e também em contato direto com o solo. Em algumas situações, não é possível modificar a condição em que a madeira fica exposta, para isso é necessário o correto tratamento preservativo.

Em obras de madeira, é extremamente importante o cuidado com a fase de projeto, e todos os detalhes da fundação, vedações externas e cobertura devem ser muito bem executadas. Nas obras onde foram realizadas as visitas, havia falhas de execução e/ou projeto, que acentuaram a ação dos agentes degradadores da madeira, resultando em perda de durabilidade do material.

8 REFERÊNCIAS

ABPM (2000). O que é preservação de madeiras. <http://www.abpm.com.br>

ARAKAKI, E. M. (2000). **Avaliação de durabilidade em sistema construtivo pré-fabricado com madeira de rejeito comercial**. São Carlos. 140p. Dissertação (Mestrado) – EESC, USP.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR 7190/97 - Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2011). NBR 7190/2011 - Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro.

BENEVENTE, V.A. (1995). Durabilidade em construções de madeira - uma questão de projeto. São Carlos. 231p. Dissertação (Mestrado) – EESC, USP.

BRITO, L.D. (2014). Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

BRITO, L.D.; CALIL JR., C. (2014). Propostas de técnicas de reabilitação e de reforço de vigas de madeira laminada colada (MLC) com parafusos auto-atarraxantes. In: XIV EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Natal.

BRITO, L. D.; SAAD, N. S.; CALIL JR., C. (2014). Sistemas estruturais de cobertura de madeira tipo ‘HAUFF’ consolidadas e existentes em Poços de Caldas – MG IN: XIV EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira

CALIL JR., Carlito; BRITO, Leandro Dussarrat (2010). Manual de Projeto e Construção de Estruturas com Peças Rolijas de Madeira de Reflorestamento. Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 332 pg. ISBN: 978-85-8023-000-0. São Carlos, 2010.

CALIL JR., C. et al (2006). Manual de projeto e construção de pontes de madeira. ISBN: 85-98156-19-1. Suprema, São Carlos, 2006.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Disponível em

<[http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/tv/materias/PANORAMA-\(SEX-21H\)/188636-REPORTAGEM-ESPECIAL:-CONSTRUCAO-CIVIL-E-CAMPEA-EM-POLUICAO-AMBIENTAL-NO-BRASIL.html](http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/tv/materias/PANORAMA-(SEX-21H)/188636-REPORTAGEM-ESPECIAL:-CONSTRUCAO-CIVIL-E-CAMPEA-EM-POLUICAO-AMBIENTAL-NO-BRASIL.html)>

CAMPOS, J. A. O. (2000). Reabilitação de madeiras em estruturas. Monografia apresentada na disciplina Materiais Derivados de Madeira. EESC, USP.

CAMPOS, J. A. O. & SALES, A. (2000). Classes de risco de biodeterioração para madeiras estruturais no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 14. São Pedro. Anais. Cd rom, arquivo digital.

CARLOS, V. (1995). Resistência a insetos xilófagos. Revista madeira, n.19.p. 42-43.

CORRÊA, R.L. (2009). Sustentabilidade na construção civil. UFMG

CRUZ, H. (2011) Inspeção, avaliação e conservação de estruturas de madeira. JMC' 2011. 1º Jornada de materiais na construção. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP. Porto, Portugal, 6 de abril de 2011.

DÉON, G. (1989). Manual de preservação das madeiras em clima tropical. França - Centre Technique Forestier Tropical: Department du CIRAD, 1989. 116p.

FILHO, E.A.C. (2006). A durabilidade da madeira na arquitetura sob a ação dos fatores naturais: Estudo de caso em Brasília.

FREITAS, R. R. (2009). Modelo teórico – experimental de deterioração de postes de madeira aplicado ao Estado de São Paulo. Tese (Doutorado) – Interunidades em ciência e Engenharia de materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Carlos.

HELLMEISTER, J. C. (1973). Sobre a determinação das características físicas da madeira. São Carlos, 161p. Tese (Doutorado) – EESC, USP.

INO, A.(1997). Princípios Básicos para garantir a Durabilidade de uma Construção em Madeira. In:WORKSHOP Durabilidade das Construções. São Leopoldo, RS. Anais

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. – IPT. (1986). Manual de preservação de madeiras. São Paulo, v.1, 702p. 53

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. – IPT. (1986). Manual de preservação de madeiras. São Paulo, v.2, 708p.

KROPF, F. W. (2000). Durabilidade e detalhes de projeto - O resultado de 15 anos de contínua implementação. **Revista madeira: arquitetura e engenharia**. v.1, n.1, p. 7-13, jan./abr. 2000.

LELIS, A. T.; BRAZOLIN, S.; FERNANDES, J.L.G.; LOPEZ, G.A.C.; MONTEIRO, M.B.B.; ZENID, G.J. (2001). Biodeterioração de madeiras em edificações. ISBN 85-09-00115-4. IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo.

MACÊDO, A. N. (1991). Biodeterioração e preservação de madeiras. São Paulo, DATE e TDC. 135p.

MACHADO, J. S.; DIAS, A.; CRUZ, H.; CUSTÓDIO, J.; PALMA, P. (2009). Avaliação, Conservação e Reforço de Estruturas de Madeira. 1ª Edição, ISBN: 9789896420659. Editora Verlag Dashöfer. Portugal.

MARTINS, S.F.M.F. (2009). Estruturas de Madeira – Inspeção e diagnóstico. Aplicação em Caso de Estudo. Dissertação (Mestrado). Engenharia Civil – Área de Especialização Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da Construção – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal.

MARTINS, V. A.; ALVES, M. V. S.; SILVA, J. de F. da; REBELLO, E. R. G.; PINHO, G. S. C. (2003). Umidade de equilíbrio e risco de apodrecimento da madeira em condições de serviço no Brasil. Brasil Florestal, ano 22, n. 76, p. 29-34, abr. 2003.

MEIRELLES, C. R. M; DINIS, H., BISCAIA, J. L; VASCONCELOS, R. Evolução das Coberturas em Madeira no Brasil. Equador, CLEFA: 2005.

MENDES, A. S. & ALVES, M. V. S. (1988). A degradação da madeira e sua preservação. Brasília, Ministério da Agricultura. 69p.

MONTANA (2000). Tratamento de madeiras. <http://www.montana.com.br>

MUHLBAUER, F.C.; RAZEIRA, S.P. (2001) Conservação e Restauração de madeira na arquitetura Brasileira

NAHUZ, M. A. R. (2000). IPT – Contribuição tecnológica. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRA E DE ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7. São Carlos, São Paulo, Brasil. Anais, Cd-rom, arquivo digital.

PFEIL, W; PFEIL, M. (2003) Estruturas de madeira.

PINHEIRO, R. V. & LAHR F. A. R. (2000). Influência da preservação contra a demanda biológica em propriedades de resistência e de elasticidade da madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRA E DE ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7. São Carlos, São Paulo, Brasil. Anais, Cd-rom, arquivo digital.

POSTESIRPA (2000). **Madeira preservada**. <http://www.irpa.com.br>

SILVA, G.A. JOÃO PAULO (2008) Especificações de tratamento de preservação para elementos de madeira.

SILVA, I.J. (1997). A Importância da disciplina patologia na ciência engenharia. São Paulo, Prova Didática. 32p.

SILVA, J. F.; MARTINS, V. A.; REBELLO, E.R.G.; SILVA ALVES, M. V.; PINHO, G. S. C. (2001). Climatologia aplicada ao uso da madeira. In: Congresso Internacional de Compensados de Madeira Tropical, 1. Belém.

SILVA, V.G. Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica. 2003.210f. Tese de doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.