

**ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA
AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DE
ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRAS
EM CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS**

LUCIANA BARBOSA DE ABREU

2010

LUCIANA BARBOSA DE ABREU

**ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO DA
INTEGRIDADE DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRAS
EM CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de “Doutora”.

Orientador
Prof. José Tarcísio Lima

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2010

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Abreu, Luciana Barbosa de.

Ensaio não destrutivo para avaliação da integridade de
elementos estruturais de madeiras em construções históricas /
Luciana Barbosa de Abreu. – Lavras: UFLA, 2010.

134 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: José Tarcísio Lima.

Bibliografia.

1. Madeira. 2. Amostragem não destrutiva. 3. Estruturas. 4.
Deterioração. 5. Patrimônio histórico. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 674.0287

LUCIANA BARBOSA DE ABREU

**ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO DA
INTEGRIDADE DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRAS
EM CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira,
área de concentração em Processamento e
Utilização da Madeira, para a obtenção do título de
“Doutora”.

APROVADA em 6 de abril de 2010

Prof. Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco	UFMG
Prof. Francisco Carlos Gomes	UFLA
Prof. José Reinaldo Moreira da Silva	UFLA
Prof. Lourival Marin Mendes	UFLA

Prof. José Tarcísio Lima
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

Esta conquista nasce pouco antes do
meu mais precioso tesouro,
meu filho Enrico,
a quem eu a dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, pela oportunidade.

Ao meu orientador, professor José Tarcísio Lima, por ter depositado sua confiança e acreditado em meu potencial para a realização deste trabalho. Pelo exemplo de caráter e pelo apoio e estima em minhas conquistas profissionais, minha eterna gratidão e carinho.

Ao professor Francisco Carlos Gomes, pelos ensinamentos, coorientação amizade e incentivo.

Ao professor Giovanni Francisco Rabelo, pela disponibilidade, coorientação, paciência e valiosas contribuições a este trabalho.

Ao professor Paulo Fernando Trugilho, pelos ensinamentos, amizade e valiosa contribuição na realização deste trabalho.

Aos professores José Reinaldo Moreira da Silva e Lourival Marin Mendes, pela transmissão de conhecimentos, amizade e colaborações.

Ao meu pai e professor, Agostinho Roberto de Abreu, por sempre me ensinar ciências exatas, pelo exemplo e pela grande contribuição a este trabalho.

A Felipe de Souza Eloy, pela importante participação neste trabalho.

Aos institutos parceiros: IEPHA/MG, por meio da Gerência de Ação Preventiva, nas pessoas do Sr. Renato César José de Souza e Sra. Alessandra Deotti e Silva; IPHAN, em sua sede na cidade de Tiradentes, representado pela Sra. Maria Aparecida do Nascimento e à Fundação Rodrigo Melo Franco de Andrade, por meio do Sr. José Antônio de Paula.

Ao técnico de laboratório Antonio Claret de Matos, pela amizade, incentivo e colaboração.

À secretária e amiga Cristiane Rodrigues Carvalho, pela presteza e sorriso constante.

Aos amigos Renato da Silva Vieira e Rogério Quinhones, pelo incentivo e apoio durante a realização deste trabalho.

Às amigas Ana Carolina Maioli Campos, Luana Elis de Ramos e Paula, Polliana D'Ângelo Rios e Vássia Soares, pela amizade, carinho e “saidinhas”.

A todos os colegas do grupo, pelo convívio tão prazeroso.

Aos meus queridos pais, Agostinho Roberto de Abreu e Ana Eliza Barbosa de Abreu, minha eterna gratidão pela vida, pelo apoio, pelo carinho e pelo esforço empregados na minha formação.

Aos meus irmãos, Daniel e Pedro Henrique Barbosa de Abreu, pelo carinho, convivência e cumplicidade.

A minha querida avó Nathália, pelo amor e exemplo de força.

Ao Jô, pelo amor, companheirismo e incentivo.

Aos meus familiares e amigos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
3 REFERENCIAL TEÓRICO	5
3.1 Patrimônio público.....	5
3.1.1 Órgãos de preservação do patrimônio.....	5
3.1.2 O surgimento dos conceitos de conservação e restauração.....	7
3.1.3 O conceito atual de conservação e restauração.....	10
3.1.4 Instrumentos legais de proteção de patrimônio	13
3.2 Estrada Real	14
3.2.1 Trilha dos Inconfidentes	16
3.2.1.1 Tiradentes	19
3.3 Patrimônio em madeira	20
3.3.1 Sistemas construtivos históricos	21
3.3.1.1 Pau-a-pique	22
3.3.1.2 Taipa de pilão.....	23
3.3.1.3 Adobe.....	24
3.3.1.4 Moledo	25
3.3.2 Integridade física x manutenção	26
3.4 Deteriorações em estruturas de madeira	27
3.4.1 Fatores condicionantes de deterioração em madeira.....	28
3.4.1.1 Agentes bióticos.....	29
3.4.1.2 Fatores abióticos	32
3.5 Diagnóstico e inspeção em estruturas de madeira	35
3.5.1 Métodos de amostragem para avaliação de propriedades da madeira	36
3.5.1.1 Inspeção visual.....	37
3.5.1.2 Sondagem a percussão	38
3.5.1.3 Trado de incremento e formão	38
3.5.1.4 Técnicas de ondas de tensão	39
3.5.1.5 Métodos de perfuração controlada: pilodyn e resistógrafo	40
3.5.1.5.1 Pilodyn.....	41
3.5.1.5.2 Resistógrafo	41
3.5.2 Propriedades da madeira	45
3.5.2.1 Resistência	46
3.5.2.1.1 Resistência à compressão.....	46
3.5.2.1.2 Resistência à tração.....	47
3.5.2.1.3 Resistência ao cisalhamento	47

3.5.2.1.4 Resistência à flexão simples	48
3.5.2.2 Rigidez	48
3.5.2.3 Densidade	49
3.5.2.4 Umidade	49
3.5.3 Fatores que influenciam nas propriedades da madeira	50
4 MATERIAL E MÉTODOS	51
4.1 Fase 1: visitas e inspeções preliminares	51
4.2 Fase 2: apoios institucionais	51
4.3 Fase 3: definição da cidade e das edificações objetos de estudo	52
4.3.1 Casarão dos Moura	53
4.3.2 Museu Padre Toledo	54
4.3.3 Sobrado dos Quatro Cantos	55
4.3.4 Sobrado Ramalho	56
4.4 Fase 4: avaliação da deterioração das estruturas de madeira	57
4.4.1 Avaliações em laboratório	58
4.4.2 Avaliações <i>in loco</i>	58
4.4.2.1 <i>Stress wave timer</i>	58
4.4.2.2 <i>Pilodyn</i>	62
4.4.2.3 Resistógrafo	62
4.4.2.4 Correlação entre amplitudes e densidade e amplitudes e velocidade	63
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
5.1 Visitas e inspeções preliminares	64
5.2 Avaliação da deterioração das estruturas de madeira das edificações	67
5.2.1 Casarão dos Moura	67
5.2.1.1 <i>Stress wave timer</i>	68
5.2.1.2 <i>Pilodyn</i>	74
5.2.1.3 Resistógrafo	76
5.2.1.4 Correlação entre amplitudes e densidade, velocidade e módulo de elasticidade	80
5.2.2 Museu Padre Toledo	81
5.2.2.1 Pilares	82
5.2.2.1.1 <i>Stress wave timer</i>	82
5.2.2.1.2 Resistógrafo	85
5.2.2.1.3 Correlação entre amplitudes e densidade, velocidade e módulo de elasticidade	89
5.2.2.2 Espigões (vigas inclinadas)	90
5.2.2.2.1 <i>Stress wave timer</i>	91
5.2.2.2.2 Resistógrafo	94
5.2.2.2.3 Correlação entre amplitudes e densidade, velocidade e módulo de elasticidade	96
5.2.3 Sobrado dos Quatro Cantos	96
5.2.3.1 <i>Stress wave timer</i>	97

5.2.3.2 Pilodyn.....	103
5.2.3.3 Resistógrafo.....	104
5.2.3.4 Correlação entre amplitudes e densidade, velocidade e módulo de elasticidade.....	107
5.2.4 Sobrado Ramalho.....	108
5.2.4.1 Pilar.....	109
5.2.4.1.1 <i>Stress wave timer</i>	109
5.2.4.1.2 Resistógrafo.....	111
5.2.4.2 Viga.....	111
5.2.4.2.1 <i>Stress wave timer</i>	111
5.2.4.2.2 Resistógrafo.....	114
5.2.5 Resumo dos resultados da avaliação da deterioração das estruturas de cada edificação.....	115
6 CONCLUSÕES.....	118
6.1 Conclusões relacionadas à metodologia por ensaios não destrutivos de avaliação.....	118
6.2 Conclusões relacionadas às condições arquitetônicas e culturais que incentivam as deteriorações.....	118
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120
ANEXOS.....	127

RESUMO

ABREU, Luciana Barbosa de. **Ensaaios não destrutivos para avaliação da integridade de elementos estruturais de madeiras em construções históricas**. 2010. 134p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Problemas relacionados à durabilidade da madeira são comumente encontrados em estruturas de edificações históricas. Medidas de preservação e conservação devem ser adotadas, a fim de se evitar substituições integrais, que descaracterizam as construções. Nesse contexto, este trabalho foi realizado com o objetivo de contribuir com a preservação de estruturas de madeira em edifícios da cidade de Tiradentes, MG. Foram avaliados elementos estruturais de quatro edificações: Casarão dos Moura, Museu Padre Toledo, Sobrado dos Quatro Cantos e Sobrado Ramalho. Foram utilizados equipamentos de ensaios não destrutivos para a avaliação: *stress wave timer*, pilodyn e resistógrafo. Amostras das peças foram retiradas para análises de densidade e para posterior estimativa dos módulos de elasticidade dinâmicos. Os resultados mostraram que os equipamentos são complementares e que seus dados nem sempre se correlacionam diretamente, já que seus princípios de atuação são diferentes. O maior problema arquitetônico, associado ao incentivo das deteriorações encontradas, foi o microclima interno úmido com ventilação insuficiente, formado por muros de arrimo de moledo e piso de terra batida. A falta de verificação periódica do posicionamento e integridade de telhas, a instalação de tubulações hidráulicas sem isolamento e a presença de varais de secar roupa e de “entulhos” em porões contribuem para a presença de água nas estruturas. Os equipamentos, pouco conhecidos no meio técnico conservacionista de patrimônio, permitem metodologias promissoras para inspeção de estruturas de madeira em serviço. Deste estudo, verifica-se a necessidade de divulgação dos métodos não destrutivos para a detecção de deteriorações de madeira, a fim de aumentar a longevidade do patrimônio histórico.

Palavras-chave: Amostragem não destrutiva, estruturas, patrimônio histórico, deterioração, integridade.

* Comitê Orientador: José Tarcísio Lima – UFLA (Orientador), Francisco Carlos Gomes - UFLA, Giovanni Francisco Rabelo - UFLA, José Reinaldo Moreira da Silva – UFLA e Paulo Fernando Trugilho – UFLA.

ABSTRACT

ABREU, Luciana Barbosa de. **Non destructive essays to evaluate the entirety of wood structural elements in historical buildings.** 2010. 134 p. Thesis (Doctors in Wood Science and Technology) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Problems related to the durability of wood are commonly found in historical buildings structures. Preservation and conservation resolutions must be adopted, in order to avoid substitutions in full, which mischaracterize buildings. This work aimed to contribute with the preservation of wood structures in buildings in the city of Tiradentes, MG. Structural elements of four buildings were evaluated: *Casarão dos Moura*, *Museu Padre Toledo*, *Sobrado dos Quatro Cantos* and *Sobrado Ramalho*. Equipments of non destructive essays were utilized in the evaluation: *Stress Wave Timer*, *Pilodyn* and resistograph. Samples of the elements were taken for analysis of density and subsequent estimation of the dynamic modulus of elasticity. The results showed that the equipments are complementary and that their data do not always correlate directly, since their principles of action are different. The major architectural problem, associated to encourage found deteriorations, was the humid internal microclimate, poorly ventilated, shaped by retaining walls of *moledo* and dirt floor. The absence of periodic checking of the positioning and integrity of tiles, the installation of hydraulic pipes without insulation and the presence of clothes dryer and "rubbish" in basements, contribute to the presence of water in the structures. The equipments, unknown by professionals of heritage conservation allow promising methodologies for inspection of timber structures in service. In this study, was confirmed the need for disclosure of non-destructive methods for detecting deterioration of wood in order to increase the longevity of historical heritage.

Keywords: non destructive essay, wooden structures, historical heritage, deterioration, entirety.

* Guidance Committee: José Tarcísio Lima (Major professor) - UFLA, Francisco Carlos Gomes - UFLA, Giovanni Francisco Rabelo - UFLA, José Reinaldo Moreira da Silva – UFLA and Paulo Fernando Trugilho - UFLA.

1 INTRODUÇÃO

As construções históricas testemunham materialmente a cultura e a história das civilizações, sendo importantes para que os povos possam ver seu passado ali refletido e ter, assim, condições de construir sua identidade. De acordo com Brasil (1988), os bens, materiais ou imateriais, portadores de referência à identidade, à ação e à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira constituem o patrimônio cultural brasileiro.

A preservação do patrimônio, em suas diversas formas, vem ganhando mais espaço na sociedade contemporânea, geralmente atrelada ao turismo cultural, patrocinado por grandes empresas e incentivado por ações governamentais. As pessoas vêm se conscientizando e os discursos relativos à preservação do patrimônio se tornam comuns. O apoio das comunidades, dos governos municipais e estaduais, do Ministério Público e de instituições públicas e privadas auxilia cada vez mais nas ações de identificação, fiscalização e proteção dos bens nacionais.

As construções históricas brasileiras foram edificadas com materiais locais, especialmente o barro, que constitui o pau-a-pique, a taipa de pilão e o adobe, pedras e madeiras. É notória a utilização da madeira na composição do patrimônio arquitetônico brasileiro, sendo generalizado seu emprego no tempo e no espaço. Entretanto, nenhuma espécie de madeira, nem mesmo aquelas de reconhecida durabilidade natural, é capaz de resistir, indefinidamente, às intempéries, às variações das condições ambientais, ao ataque de microrganismos e à ação do próprio homem. A madeira é um material biológico e, portanto, está sujeita a um processo natural pelo qual passa qualquer ser vivo: a deterioração. Agentes físicos, químicos e biológicos, atuando em conjunto ou separadamente, são responsáveis por esse processo.

Embora, nas construções históricas brasileiras, tenha sido comum a preocupação de se proteger a madeira da umidade, apoiando pilares em pedras e isolando baldrames do contato direto com o solo, a falta de manutenção regular e preventiva, aliada a corriqueiras intervenções inadequadas, contribuiu para facilitar o acesso de água e propiciar o mau estado de conservação de parte do patrimônio nacional em madeira. Além disso, as propriedades dos materiais em uso mudam com o decorrer do tempo, tornando-se necessário avaliá-las em determinadas estruturas, a fim de estimar se a continuidade de seu uso é segura.

Em uma estrutura de madeira deteriorada, a substituição integral pode parecer mais viável e prática do que sua restauração. Entretanto, essa atitude elimina os traços da passagem da obra de arte pelo tempo, criando o “falso artístico” ou “falso histórico”, condenado por Brandi (2004) em uma intervenção restauradora. O respeito ao patrimônio e o entendimento de seu valor estético, histórico e social preconizam a necessidade de recuperação do original, aceitando-se o complemento somente quando for realmente indispensável. Entretanto, devido aos custos e ao tempo necessários a uma restauração e a não valorização do patrimônio, as restaurações de estruturas de madeira têm sido frequentemente descartadas, optando-se por substituições que acabam descaracterizando o bem.

A avaliação da deterioração de um elemento estrutural de madeira deve envolver áreas distintas para que sejam estudados os organismos xilófagos, as propriedades físicas e mecânicas da madeira e as técnicas projetuais e pós-ocupacionais que permitem o acesso de água na madeira. Uma amostragem não destrutiva permite mapear as áreas danificadas em uma estrutura e avaliar sua integridade, auxiliando na decisão sobre a técnica de manutenção ou reabilitação mais indicada (Oliveira et al., 2005). Algumas técnicas não destrutivas podem ser adotadas com tal finalidade, como, por exemplo, a emissão de ondas de tensão e as sondagens por perfurações controladas. Fundamentadas no uso eficaz

dos métodos não destrutivos e na análise das relações das características das deteriorações com as propriedades de resistência da madeira, poderão ser adotadas decisões que contribuam com a preservação e a longevidade do patrimônio em madeira. Neste contexto, o desenvolvimento de uma metodologia que utilize técnicas confiáveis de vanguarda torna-se fundamental, evitando-se mais perdas patrimoniais.

Dessa forma, baseando-se nos conhecimentos da ciência e tecnologia da madeira, esta pesquisa fundamenta-se na necessidade de inspeções preventivas e de medidas de conservação e restauração de construções históricas de Tiradentes, MG, cidade integrante da Trilha dos Inconfidentes, uma parte do trecho mineiro da Estrada Real. Somente se embasar seus projetos de reforma em metodologias de avaliação não destrutiva de estruturas de madeira, substituindo apenas o que estiver totalmente deteriorado, o município investirá em sua eficaz valorização, permitindo o seu verdadeiro desenvolvimento econômico e social.

2 OBJETIVOS

Este trabalho foi realizado com o objetivo geral de incentivar que estruturas de madeira de construções históricas sejam preservadas, tomando como cenário a cidade de Tiradentes, MG.

Especificamente, este trabalho buscou:

- ✓ apresentar uma metodologia que utilize ensaios não destrutivos para avaliar deteriorações de elementos estruturais de madeira de construções históricas;
- ✓ caracterizar as técnicas construtivas das edificações onde se encontram as estruturas, verificando-se as condições arquitetônicas e culturais que incentivam as deteriorações.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Patrimônio público

O patrimônio histórico e artístico nacional foi definido, de acordo com o decreto de criação do Serviço de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (SPHAN), como o conjunto de bens móveis e imóveis existentes no país e cuja conservação seria de interesse público, seja sua vinculação a fatos memoráveis da história do Brasil, seja por seu excepcional valor arqueológico, etnográfico, bibliográfico ou artístico.

De acordo com Brasil (1988), contemplado pelo artigo 216 da Constituição da República Federativa do Brasil, o patrimônio cultural brasileiro é constituído por bens materiais ou imateriais, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação e à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira. A Constituição também estabelece que cabe ao poder público, com o apoio da comunidade, a proteção, a preservação e a gestão do patrimônio histórico e artístico do país.

Diante dessas considerações, destaca-se a tarefa de preservação do patrimônio como de interesse público, uma vez que preservar um bem patrimonial é contribuir para que os desafios, as trajetórias e as representações sociais não se percam no passado. Já a restauração deve ser entendida como um trabalho de recuperação da integridade física e funcional de um bem cultural, que impede que a ação do tempo deteriore a manifestação documental de uma época.

3.1.1 Órgãos de preservação do patrimônio

Desde a Antiguidade, medidas administrativas eram adotadas em impérios e reinos para a proteção de edificações importantes para suas sociedades. Lemos (2004) relatou que, no Império Romano, havia um código de

posturas que visava à conservação da imagem da cidade. O imperador Alexandre aplicava multas a quem comprasse uma casa, com a intenção de demoli-la. No Império Bizantino, no final do século IV, leis proibiam a desfiguração de fachadas e seus ornamentos. Na Era Moderna, já durante o Renascimento italiano, algumas ações da igreja visavam à conservação de documentos e prédios, porém, segundo Kühl (2007), somente a partir do século XIX, um pensamento mais estruturado sobre a proteção do patrimônio cultural começou a ser organizado.

No início do século XX, legislações e atitudes mais abrangentes e concretas começaram a ser postas em prática, tendo sido publicada, em 1931, a Carta de Atenas, primeira norma de condutas relacionada à preservação e à conservação de edificações, de caráter internacional.

No Brasil, o reconhecimento da necessidade de proteção do patrimônio histórico e artístico despontou nos anos 1920, época em que despontava a busca por uma identidade cultural brasileira. De acordo com Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN (2008a), em 1936, Mário de Andrade foi solicitado a preparar um documento para a criação de uma instituição nacional de proteção do patrimônio que reafirmasse uma identidade nacional. Esse documento teria sido utilizado nas discussões preliminares sobre a estrutura e os objetivos do Serviço de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (SPHAN), criado em 13 de janeiro de 1937, pela Lei nº 378, no governo de Getúlio Vargas. A instituição veio a ser, posteriormente, Departamento, Instituto, Secretaria e, de novo, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), como se denomina atualmente.

O objetivo do IPHAN é a fiscalização, proteção, identificação, restauração, preservação e revitalização dos monumentos, sítios e bens móveis do país (IPHAN, 2008b). O Instituto realiza essas ações com o apoio das

comunidades, dos governos municipais e estaduais, do Ministério Público e de instituições públicas e privadas.

Em Minas Gerais, o Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais (IEPHA/MG), fundação vinculada à Secretaria de Estado da Cultura, foi criado pela Lei nº 5.775, de 30 de setembro de 1971. O IEPHA tem competência e atribuições iguais ou complementares às do órgão federal de proteção do patrimônio.

3.1.2 O surgimento dos conceitos de conservação e restauração

A era industrial proporcionou a constatação da transitoriedade das obras humanas. Choay (2006) afirma que o advento dessa era contribuiu para inverter a hierarquia dos valores atribuídos aos monumentos históricos, acelerando o estabelecimento de leis visando à sua proteção e fazendo da restauração uma disciplina autônoma. Já na década de 1850, apesar do descompasso de sua industrialização, a maioria dos países europeus teria consagrado o monumento histórico como insubstituível e sua perda, como irremediável.

Os conceitos de conservação e de restauração surgiram no século XVIII, mas foi somente no início do século XIX que teóricos, como John Ruskin, Viollet-le-Duc e Camillo Boito ensaiaram as primeiras teorias a respeito do tema. As doutrinas de restauração dos dois primeiros são antagônicas e radicais, enquanto nos conceitos do último baseia-se o pensamento contemporâneo.

O inglês Ruskin, segundo Choay (2006), declarava que não temos o direito de tocar nos monumentos do passado, uma vez que eles não nos pertencem, mas, sim, àqueles que os edificaram e ao conjunto de gerações que virão depois de nós. A restauração seria a destruição mais completa que o edifício poderia sofrer e a ruína, momento de maior beleza, era o fim de todo edifício, não devendo ser evitada. Ruskin chegava a afirmar que, quando se projetava um edifício, os materiais deveriam ser escolhidos pensando no seu

estado de ruína. Não havia, por parte de sua teoria, a vontade de que elas voltassem ao aspecto original, mas sim, de que permanecessem, de fato, como ruínas. De acordo com Araújo (2005), Ruskin aceitava pequenas obras de consolidação, como escoras que aumentassem a sobrevivência de um monumento. Porém, se elas perdessem sua eficácia, as pessoas deveriam se conformar em face da morte certa e natural daquele monumento.

Na França, a doutrina e a prática da restauração foram dominadas pela figura de Viollet-le-Duc, que afirmava que restaurar um edifício era restabelecê-lo completamente a um nível de integridade que podia nunca ter existido. Restaurar um edifício seria colocá-lo em bom estado, restabelecer sua solidez e o caráter de origem, além de dar-lhe uma nova vida, adaptando-o a certas necessidades da vida moderna (Le-Duc, 2002).

A concepção idealizada de monumentos históricos fez com que Le-Duc realizasse intervenções militantes e arbitrárias. Entretanto, Choay (2006) afirmou que se deve relativizar a abordagem de sua restauração no contexto intelectual da época, lembrando-se do estado de deterioração em que se encontravam os monumentos na França. Também não se deve ignorar seu interesse pela história das técnicas e dos canteiros de obra, seus métodos de pesquisa *in loco*, o fato de ter sido um dos primeiros a valorizar os registros fotográficos e a maneira como soube retirar das fachadas as esculturas muito frágeis e ameaçadas. O teórico atribuía grande importância ao levantamento e ao projeto como instrumentos de raciocínio e controle, e ao registro preciso anterior, concomitante e posterior à intervenção. Porém, segundo Köhl (2007), embora pregasse o método e o rigor e considerasse que as hipóteses constituíam o maior perigo para os trabalhos de restauração, na sua atividade prática, Le-Duc agia incisivamente, com numerosas transformações e complementações, tais como a criação de fachadas góticas em igrejas originalmente românicas, a

substituição de esculturas mutiladas por cópias e o deslocamento de esculturas de um monumento para outro.

A abordagem francesa, em geral, subentende o postulado, impensável para Ruskin, de que a restauração é a outra face da conservação; necessária e obrigatória, ela pode e deve ser fiel, questão que depende da metodologia adotada (Choay, 2006).

No último quartel do século XIX, muitos preconizavam uma posição historicamente fundamentada, mais respeitosa em relação ao bem, graças aos progressos da arqueologia e da história da arte. Essa postura questionadora foi sendo posta em prática, paulatinamente, de forma anônima. No entanto, foi definida e defendida, com destaque, pelo italiano Camillo Boito. De acordo com Choay (2006), Boito construiu sua doutrina com base na oposição entre Ruskin e Le-Duc e enunciou um conjunto de regras que foram moduladas e aprimoradas, mas que, em sua essência, continuam válidas.

Camillo Boito chamou a atenção para o fato de a conservação e a restauração não serem incompatíveis, como julgava Ruskin, nem sinônimas, como preconizava Le-Duc (2002). Segundo Boito (2003), a concepção da conservação de monumentos deve se basear na noção de autenticidade, que valoriza os sucessivos acréscimos devidos ao tempo e rejeita a concepção “paleontológica” (com base na qual Le-Duc reconstituiu partes desaparecidas de edifícios) e a “tipologia estilística”, que termina por ignorar o caráter singular de cada monumento. Boito postula a prioridade do presente em relação ao passado e afirma a legitimidade da restauração. Entretanto, prega a precedência da conservação sobre a restauração e a limitação desta ao mínimo necessário.

De acordo com Araújo (2005), Boito distanciava-se de Ruskin e de Le-Duc: do primeiro, na medida em que não aceitava a morte inevitável dos monumentos e do segundo, não aceitando levá-los a um estado que poderia nunca ter existido antes. Alertava para o perigo da forma de agir de Le-Duc em

função da arbitrariedade que a mesma continha e ao que poderia ser sua inevitável consequência: o triunfo do engano. Boito (2003) afirmou que é uma vergonha enganar os contemporâneos e uma vergonha maior enganar os que vêm depois.

As ideias de Boito representaram uma grande contribuição para a reflexão contemporânea sobre os princípios da ação restauradora, estabelecendo as bases para uma nova forma de intervenção, na qual a diferenciação da intervenção deve ser observável, ainda que integrada harmoniosamente ao conjunto. Questões como o embasamento na documentação e o respeito às fases de uma obra permeiam todas as intervenções contemporâneas, tendo, portanto, grande importância em sua práxis.

3.1.3 O conceito atual de conservação e restauração

Todo conhecimento em processo de formação provoca a crítica de seus conceitos e de seus procedimentos, não tendo sido diferente com as disciplinas afins quanto à conservação e à restauração de monumentos históricos. Segundo Choay (2006), a abordagem crítica sobre a conservação desses monumentos, já em fins da década de 1860, apresentava, de modo teórico, quase os mesmos contornos que atualmente. Entretanto, a autora afirma que as ideias não afetaram profundamente as práticas conservadoras, que continuaram relativamente idênticas durante cerca de um século, entre 1860 e 1960.

Em 1963, Cesare Brandi, diretor do Instituto Central de Restauração de Roma, desde sua fundação, em 1939, até 1960, publicou sua Teoria da restauração. Brandi (2004) definiu o restauro como o momento metodológico do reconhecimento da obra de arte na sua consistência física e na sua polaridade estética e histórica, tendo em vista sua transmissão para o futuro. O ato de restauração passa a ser condicionado à compreensão da obra de arte como tal, o que resulta na predominância do estético sobre o histórico, na medida em que é

exatamente a condição de artística o que diferencia a obra de arte de uma obra comum.

De sua teoria, Brandi extraiu dois axiomas. O primeiro propõe que somente se restaura a matéria da obra de arte, meio pelo qual se manifesta a imagem de um processo mental, no qual é impossível agir. Daí decorrerem as críticas às restaurações baseadas em suposições sobre o estado original da obra, condenadas a serem meras recriações fantasiosas. Ainda nessa linha de raciocínio, a autor afirma que a matéria manifesta a imagem, mas essa não se limita à espacialidade contida pela matéria, ou seja, o meio físico também compõe a imagem. A obra de arte passa a ser entendida na sua totalidade mais ampla e, por conseguinte, o restauro é considerado, além de uma intervenção sobre a matéria, como salvaguarda das condições ambientais que assegurem a melhor fruição do objeto. O segundo axioma diz respeito ao dever de se evitar o “falso artístico” ou o “falso histórico”, sem que se cancelem os traços da passagem da obra de arte pelo tempo. O autor definiu como princípios para a intervenção restauradora as regras da distinguibilidade e da reversibilidade das intervenções contemporâneas nos monumentos do passado.

Brandi (2004) afirma que o ato de restauração não pode reinserir-se no momento da formulação da obra de arte, retroceder e transformar-se em criação, concluindo que o restauro deve ser fruto da consciência crítica e científica do momento em que a intervenção se produz. O autor ressalva que o julgamento do valor da obra e a decisão quanto ao que deve ser eliminado não podem depender do gosto ou do arbítrio de uma única pessoa. A restauração deve ser permeada por conhecimentos técnicos e humanísticos, relacionados com o domínio da história, da estética e da filosofia, sem os quais não se pode assegurar sua legitimidade.

O reconhecimento de uma obra de arte por um indivíduo personifica instantaneamente a consciência universal, da qual se exige o dever de conservar

e transmitir a obra de arte para o futuro (Brandi, 2004). Dessa forma, a conservação preventiva coloca-se como um imperativo, por meio da tutela, da remoção de perigos e da garantia de condições favoráveis.

As definições sobre preservação, conservação e restauração são diferentes. Sá (2001) distinguiu esses conceitos, afirmando que preservar envolve um sentido amplo e geral de consciência, de mentalidade, de política individual, particular ou institucional, visando à proteção de um bem patrimonial. A conservação, por sua vez, trata de um o conjunto de ações diretas, de caráter corretivo, realizadas na própria estrutura física do bem patrimonial, visando seu tratamento e ampliação da vida útil, impedindo, retardando ou inibindo a ação ocasionada pela ausência de uma conservação preventiva. Por último, a restauração refere-se a um tratamento bem mais complexo e profundo, constituído de intervenções mecânicas e químicas, estruturais e/ou estéticas, com a finalidade de revitalizar um bem cultural, respeitando-se a integridade e as características históricas, estéticas e formais do bem.

Itália (1972) definiu preservação como a salvaguarda, ou seja, medidas de conservação que não impliquem intervenção direta sobre a obra. De acordo com Sá (2001), salvaguardar significa realizar procedimentos técnicos referentes ao controle ambiental sobre o meio em que está situado o bem cultural, bem como à higienização, ao acondicionamento, às exposições, ao transporte, à segurança e à guarda do acervo. Toda medida preventiva deve ter por base o conhecimento dos diferentes fatores e agentes que causam deterioração e suas consequências. Osório (2000) afirma que as intervenções indiretas são ações preventivas que devem ser tomadas com relação à edificação, à coleção e/ou ao pessoal envolvido em sua manutenção.

O entendimento do valor histórico-social e o respeito ao patrimônio são primordiais para que o acréscimo do novo ao velho seja como um complemento e não como uma reinterpretação de técnicas e materiais antigos

(Worthing & Dann, 2000). Quando indispensáveis, as intervenções devem ser mínimas e os métodos, responsáveis, evitando-se experimentações.

As intervenções diretas de restauração são necessárias para retardar ou inibir o processo natural de deterioração, quando agravado pela ausência de uma conservação preventiva. Normalmente, a obra submetida à restauração sofre tratamentos mecânicos e/ou químicos que interferem na própria estrutura física do bem patrimonial. Portanto, todas as medidas de preservação e conservação devem ser adotadas, a fim de que seja evitada uma restauração.

3.1.4 Instrumentos legais de proteção de patrimônio

As formas de acautelamento e preservação do patrimônio cultural e artístico brasileiro são, entre outras, inventários, registros, vigilância, tombamento e desapropriação (Brasil, 1988).

Os inventários consistem na identificação e no registro de bens patrimoniais, por meio de levantamentos das características e particularidades relacionadas, por exemplo, à sua história, às características físicas, ao estado de conservação, aos proprietários. Os inventários funcionam como instrumento de conhecimento e pesquisa, uma vez que constituem um acervo de bens cujos valores foram identificados e reconhecidos. Dessa forma, subsidiam as políticas de preservação do patrimônio e as definições dos bens culturais passíveis de tombamento.

O tombamento coloca sob a tutela pública os bens móveis e imóveis, públicos ou privados que, por suas características históricas, artísticas, estéticas, arquitetônicas, arqueológicas, documentais e ambientais, integram-se ao patrimônio cultural de uma localidade. O tombamento submete um bem cultural à proteção governamental, que lhe aplica legislação específica, evitando sua destruição ou descaracterização (Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais-IEPHA, 2008).

O tombamento não retira a propriedade do bem e continua a permitir transações comerciais e eventuais modificações físicas, desde que previamente autorizadas e acompanhadas por um órgão competente. Mariuzzo (2008) afirma que é comum os proprietários confundirem o tombamento de um bem com desapropriação, o que os leva a promoverem a destruição total do próprio bem para evitar que o processo se concretize.

3.2 Estrada Real

A Estrada Real foi o conjunto de caminhos criados pela Coroa Portuguesa no século XVII, com a intenção de fiscalizar a circulação de ouro, diamantes e mercadorias entre Minas Gerais e o litoral do Rio de Janeiro, capital da colônia, por onde saíam os navios para Portugal. De acordo com o Instituto Estrada Real (2008), o complexo da estrada, união de três caminhos surgidos em momentos diferentes, o Caminho Velho, o Caminho Novo e a Rota dos Diamantes, é formado por mais de 1.400 km de patrimônio, cercado de natureza, cultura, arte e memória (Figura 1).

Como era proibido fazer o trajeto por outras vias, os caminhos, usados por imperadores, soldados, mercadores, aventureiros e intelectuais, representam o passado e a história de Minas Gerais e do Brasil, uma vez que retratam os caminhos percorridos, os pontos de parada, as cidades e as vilas que se formaram durante o passar da história brasileira.

Com o fim do ciclo econômico do ouro e do diamante, o caminho ficou por muito tempo esquecido. Atualmente, é alvo de vários projetos de recuperação para explorar seu potencial turístico. De acordo com Menezes (2008), a Estrada Real, antes um lugar rico em ouro, é, hoje, uma mina de ouro para o turismo. Porém, se ela não tiver seus tesouros históricos, culturais e de belezas naturais conservados, corre o risco de perder seu significado. Esforços devem ser investidos por nossas instituições para que isso não ocorra.

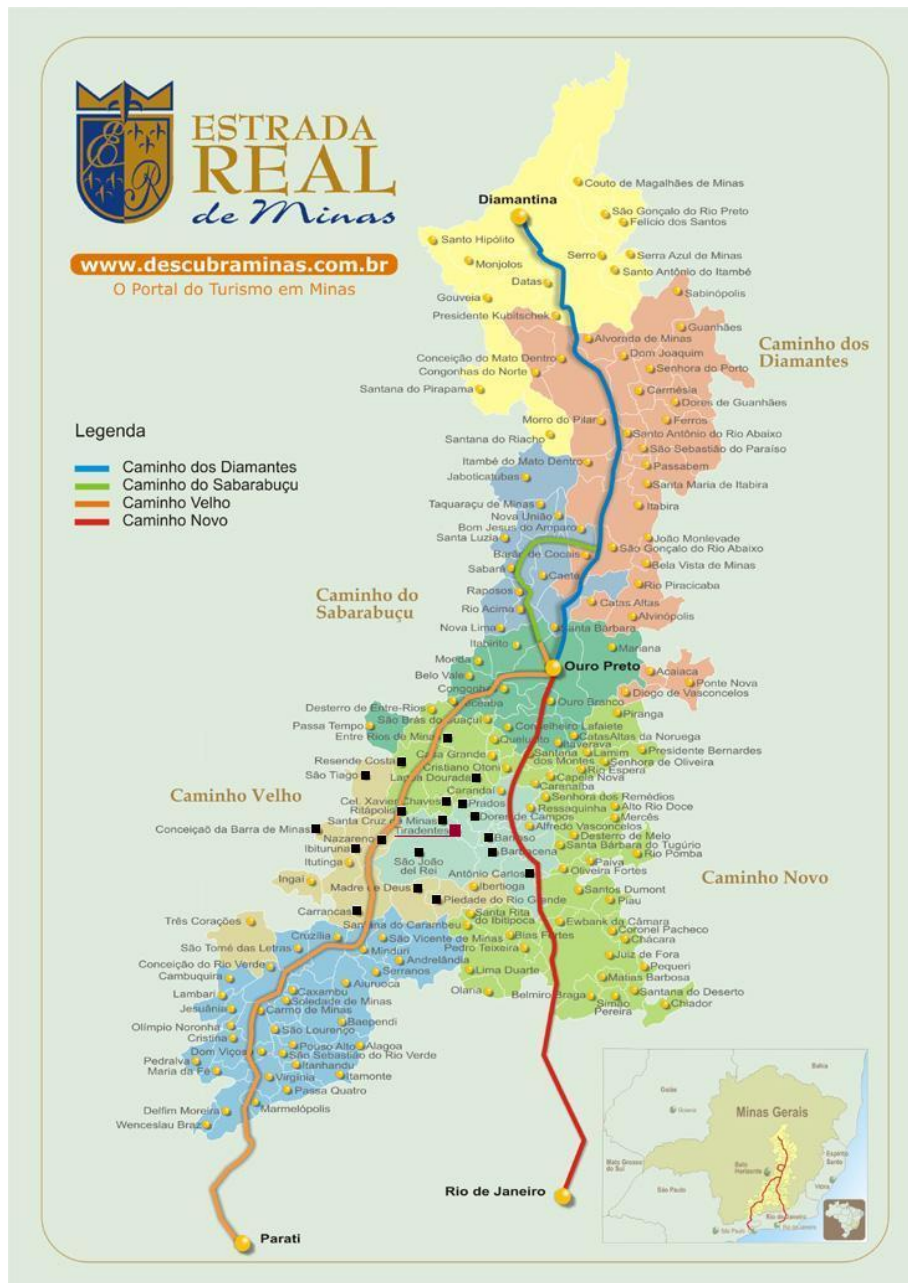


FIGURA 1 Mapa da Estrada Real.
 Fonte: www.descubraminas.com.br.

O Projeto Estrada Real foi formulado em 2001, pelo Instituto Estrada Real, sociedade civil sem fins lucrativos, criada pela Federação das Indústrias de Minas Gerais (FIEMG), com a finalidade de valorizar o patrimônio histórico-cultural e estimular o turismo, a preservação e a revitalização do entorno das antigas Estradas Reais.

3.2.1 Trilha dos Inconfidentes

A formação de circuitos turísticos é uma forma de divulgar as riquezas de uma região. Segundo Cunha (2004), além de serem alternativas fundamentais para o desenvolvimento econômico e social de Minas Gerais, os circuitos constituem uma estratégia eficaz de valorização, preservação e recuperação do patrimônio cultural do estado.

A Trilha dos Inconfidentes está localizada no coração da Estrada Real, no estado de Minas Gerais, e foi palco de importantes acontecimentos da história de Minas e do Brasil. Por seus caminhos, por onde percorriam o ouro e os bandeirantes, os “inconfidentes”, que desejavam a independência da Coroa Portuguesa, espalhavam os ideais de liberdade proclamados na Europa do século XVIII. Segundo Trilha... (2008), o nome desse circuito justifica-se pelo fato de 9 dos 23 inconfidentes mineiros, terem residido na comarca do Rio das Mortes, cuja sede era a Vila de São João Del Rei.

Na tentativa de buscar preservar o expressivo patrimônio histórico e cultural mineiro e de organizar a sua utilização para a finalidade turística, Anghinetti (2004) afirmou que Minas Gerais teve, na formação de circuitos turísticos, uma de suas mais importantes diretrizes. O circuito Trilha dos Inconfidentes é composto por municípios próximos entre si, que se associaram em função de interesses e possibilidades de explorar turisticamente seus respectivos patrimônios. Na Figura 1, os pontos pretos e vermelhos representam os municípios que se uniram para consolidar tal projeto que, de acordo com

Chaves (2008), são: Antônio Carlos, Barbacena, Barroso, Carrancas, Conceição da Barra de Minas, Coronel Xavier Chaves, Dolores de Campos, Entre Rios de Minas, Ibituruna, Lagoa Dourada, Madre de Deus de Minas, Nazareno, Piedade do Rio Grande, Prados, Resende Costa, Ritópolis, Santa Cruz de Minas, São João Del Rei, São Tiago e Tiradentes. O circuito formado por esses municípios e sua inserção no estado de Minas Gerais podem ser observados na Figura 2.

Vasconcellos (2004) afirmou que não há uma arquitetura brasileira e, muito menos, uma arquitetura mineira propriamente dita, mas, sim, uma arquitetura de caráter luso-brasileira. Minas não tinha tradições pré-cabralianas e a inteira responsabilidade das construções ficava a cargo dos portugueses. Além disso, o local não teria tido uma economia estável, apesar do ouro em quantidade, sempre destinado à Coroa. Esse fato teria proporcionado uma arquitetura fraca, sem ostentações, que somente se manifestava com mais desenvoltura nas construções de finalidade religiosa. Outra dificuldade seria com relação às condições do meio, desatendido pelo poder real, que só visava o ouro, obtido a qualquer modo; meio hostil, sem transportes, sem contato com a metrópole, com chuvas torrenciais e secas periódicas. No entanto, o autor conclui que todas essas dificuldades possibilitaram a caracterização das construções mineiras, a ponto de lhes conferir uma fisionomia quase peculiar, razão da existência de uma “escola mineira” dentro do quadro geral da arquitetura luso-brasileira.



FIGURA 2 Circuito Trilha dos Inconfidentes.

Fonte: www.descubraminas.com.br.

O conjunto de cidades da Trilha dos Inconfidentes possui um dos mais representativos patrimônios culturais, artísticos e históricos de Minas Gerais (Chaves, 2008). Suas cidades guardam igrejas, capelas, casas, monumentos e ruínas, que evocam um passado repleto de histórias e vultos, e que são heranças da arte colonial mineira desenvolvida no século XVIII. De acordo com Trilha... (2008), expressivos exemplares da arquitetura civil colonial podem ser contemplados: sobrados, chafarizes, fazendas centenárias, antigas casas de câmara e cadeia e museus históricos e de arte sacra.

Compreender seu valor histórico-cultural e assegurar a longevidade de um patrimônio não implica somente na manutenção da integridade física de seus materiais. Um município que valoriza, conserva e restaura seus bens atrativos pode divulgá-los e promovê-los, a fim de estimular a exploração do seu

potencial turístico. Assim, são criadas oportunidades de trabalho no setor de turismo e em serviços complementares, melhorando a geração de renda e, conseqüentemente, a qualidade de vida da população.

3.2.1.1 Tiradentes

A cidade de Tiradentes apresenta uma característica peculiar em relação às demais, por ter seu conjunto histórico inventariado e tombado pelo IPHAN e por ser foco turístico, tanto cinematográfico, como gastronômico, histórico e rural, sendo, vez ou outra, alvo de ações preservacionistas de grandes empresas nacionais. Ela está marcada por um ponto vermelho, na Figura 1. A cidade abriga uma sede do IPHAN e o Centro de Cultura e Patrimônio, Memória e Cidadania, órgão da Prefeitura Municipal. A população parece conscientizada em relação à importância de salvaguardar e preservar seu patrimônio material e a impressão que se tem é a de que a cidade se resguardou antes que modificações desastrosas acontecessem. Não se discutirão, aqui, as alterações dos hábitos e costumes da população (seu patrimônio imaterial), devido ao grande fluxo de turistas na cidade.

Suas edificações históricas, geralmente, têm estruturas em madeira e são representativas dos sistemas construtivos edificados ao longo dos caminhos da Estrada Real. Entretanto, também são vítimas do falso histórico, por sofrerem constantes substituições integrais, baseadas apenas em análises visuais.

Uma metodologia de avaliação não destrutiva de estruturas de madeira deveria embasar seus projetos de reforma, proporcionando diagnósticos confiáveis para que apenas o que estivesse totalmente deteriorado fosse substituído e não tudo o que está superficialmente danificado. Neste contexto, o desenvolvimento de uma metodologia que utilize técnicas confiáveis de vanguarda torna-se fundamental, evitando-se mais perdas patrimoniais.

3.3 Patrimônio em madeira

No Brasil, a grande quantidade e a variedade de madeiras sempre possibilitaram um uso amplo e diversificado desse material. O país deve seu próprio nome a uma espécie vegetal, *Caesalpinia echinata* Lam., vulgarmente conhecida como pau-brasil. A madeira representa uma rica e transcendental manifestação da cultura material do país, já que elementos culturais transplantados por europeus e africanos foram somados aos dos nativos, ampliando e diversificando as aplicações desse material (Abreu et al., 2009).

Graças à disponibilidade, às possibilidades estruturais e à capacidade de agradar esteticamente, a madeira é um material de construção muito utilizado no Brasil. Tal como pedra ou barro, a madeira é um material disponível na natureza e faz parte da paisagem nacional. Entretanto, segundo Stungo (2001), enquanto pedras e argila são frias e sem vida, a madeira provoca uma sensação de calor e exerce suas funções em acordo com a natureza, criando uma relação simbiótica entre arquitetura e paisagem. Massif... (2001) afirma que a madeira é especificada, entre outras razões, porque apresenta atributos que criam conexões entre o homem e a natureza, e qualidades que impressionam nossos sentidos. Talvez parte da atração que sempre exerceu sobre os homens seja em função da conexão inconsciente que ela nos proporciona com o mundo a nossa volta.

De acordo com Vasconcellos (1979), as madeiras empregadas nas construções históricas brasileiras teriam sido das mais variadas espécies, de acordo com a disponibilidade da região, entre elas o angico, a canela, o cedro, o ipê, o jacarandá, o jatobá, o jequitibá, a maçaranduba, a peroba e a sucupira. Vasconcellos (1946) também afirma que, apesar de seu emprego comum em paredes de pau-a-pique, a madeira era considerada um material nobre, sendo, em construções mais refinadas, a opção para compor os portais de paredes em alvenaria de pedra e o revestimento de assoalhos e forros.

A escolha racional da madeira, o uso de tratamentos preservativos adequados, as técnicas construtivas, bem como a manutenção preventiva associada ao monitoramento ambiental contínuo, auxiliam a longevidade da madeira. No Japão, construções seculares mantêm suas características originais, como acontece no templo budista Todaiji, obra fundada no ano de 752 (Numazawa & Valle, 2008). Para se adequar ao clima japonês, de verão quente e úmido e inverno frio e seco, a edificação tem aberturas para a livre circulação de ar e para evitar o acúmulo de vapor, liberado nos banhos de imersão. Além desse cuidado, as técnicas japonesas não utilizam material metálico em estruturas, mas somente encaixes. Outro símbolo da eficiente manutenção japonesa é o templo de Horyuji, que forma o conjunto das construções em madeira mais antigo do mundo, datado do século VII. Já no Brasil, com as rápidas transformações urbanas e sociais, parte das edificações históricas foi esquecida ou sofreu modificações aleatórias ao longo de sua existência. Dessa forma, problemas relacionados à durabilidade da madeira são comumente encontrados em suas estruturas.

3.3.1 Sistemas construtivos históricos

As edificações históricas brasileiras, geralmente, possuem estruturas em madeira maciça, utilizadas na forma roliça e/ou falquejada. Segundo Pfeil (1985), o falquejamento é a técnica de obtenção de madeira por cortes de troncos com machados. Esse tipo de estrutura é denominado estrutura autônoma de madeira.

De acordo com Vasconcellos (1979), o sistema de estrutura de madeira com vedações de pau-a-pique foi o mais difundido no Brasil. Também foram comuns a taipa de pilão, o adobe e o moledo, que serão descritos a seguir.

3.3.1.1 Pau-a-pique

Elemento de vedação, ou seja, que não têm função estrutural, mas de fechamento de vãos, o pau-a-pique consiste em madeiras roliças de pequeno diâmetro colocadas perpendicularmente entre os baldrames (cintamento de piso) e os frechais (vigas), neles fixados por meio de furos ou pregos. Normalmente, nessas madeiras são amarradas varas mais finas, horizontalmente, formando uma trama capaz de receber e sustentar o barro que encherá os vazios da armação (Figura 3). Segundo Vasconcellos (1979), essas varas poderiam ser colocadas duas a duas, de um lado e outro, no mesmo nível ou alternadamente. Ainda de acordo com o autor, as paredes de pau-a-pique das cidades históricas brasileiras eram mais utilizadas no interior das edificações ou nos pavimentos elevados. Esse sistema construtivo também é chamado de taipa de mão ou taipa de sebe.

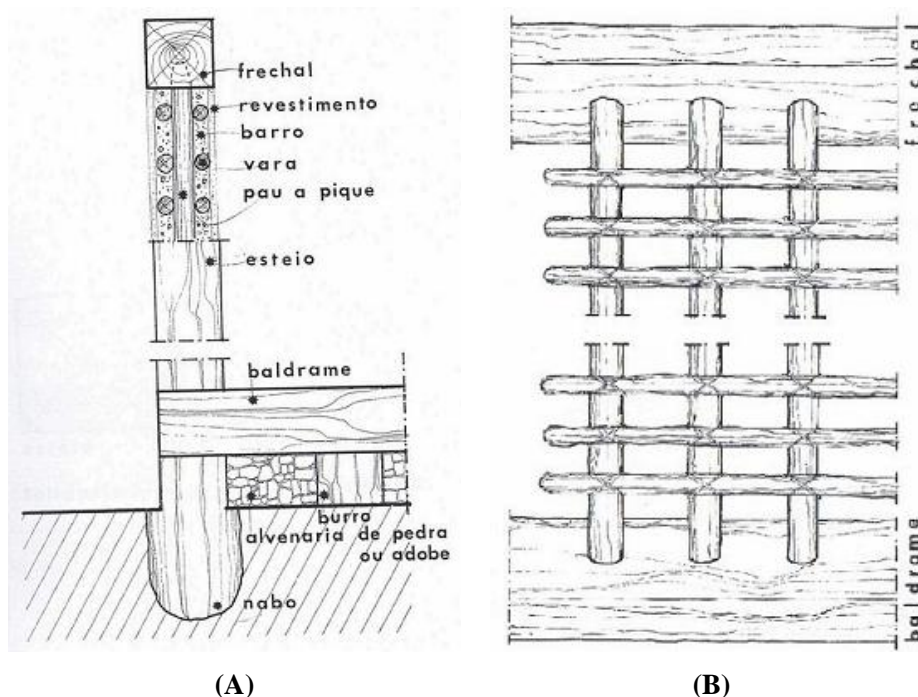


FIGURA 3 A: Representação de estrutura de madeira com vedação em pau-a-pique; B: representação da trama criada no sistema de pau-a-pique. Fonte: Vasconcellos (1979).

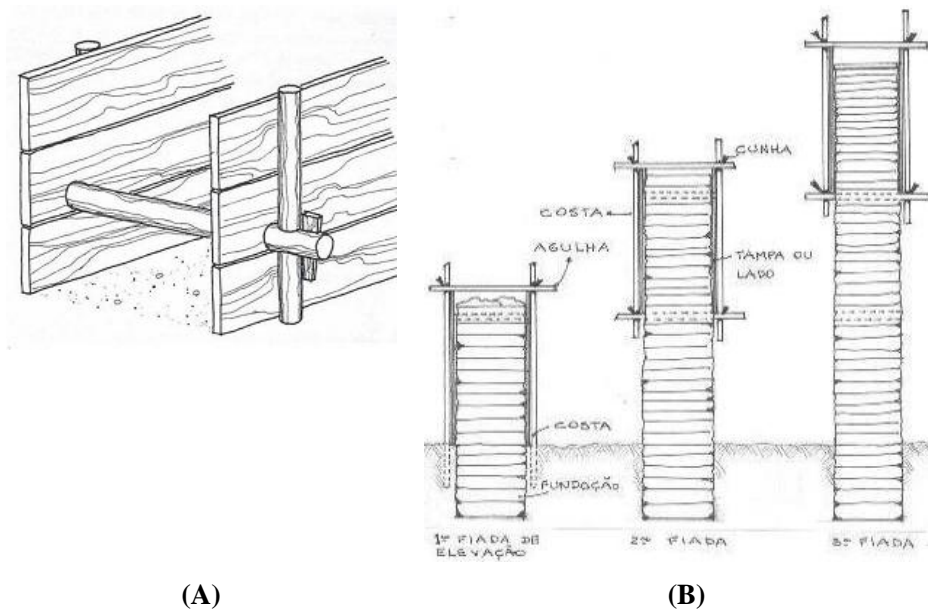
3.3.1.2 Taipa de pilão

A taipa de pilão, considerada como elemento estrutural, ou seja, que suporta cargas da construção, é o sistema em que as paredes são maciças, constituídas, normalmente, apenas por barro socado. Sua técnica de construção consiste em armar formas de madeira, denominadas taipais, dentro das quais se coloca e se comprime o barro, com um pilão (apiloamento) ou com o auxílio dos pés. Os taipais são travados por meio de travessas, ao longo de seu comprimento e se sucedem verticalmente, e cada fiada se prolonga pela extensão da parede (Figura 4).

Segundo Vasconcellos (1979), o barro empregado incluía determinada mistura de terra com areia e argila, para que se conseguisse maior aglutinação e

menor possibilidade de rachaduras e fendas. A técnica não teria se conservado em detalhes, pois dependia dos artesãos que a praticavam e da tradição oral. Ainda de acordo com o autor, para auxiliar na aglutinação do barro, utilizavam-se tanto o estrume vacuno como fibras vegetais ou, mesmo, crina ou sangue animal. A massa, com o passar do tempo, endurecia e, devido à sua qualidade, “petrificava-se”.

Esse sistema construtivo remete à técnica do concreto, na qual se armam formas de madeira e se têm traços ideais para determinadas finalidades.



(A) (B)
 FIGURA 4 Representação do sistema de taipa de pilão em que A representa um taipal e B, a execução de três fiadas de uma parede de taipa.

Fonte: Vasconcellos (1979).

3.3.1.3 Adobe

O adobe, ou adobo, consiste em blocos de barro que diferem dos tijolos comuns apenas por não serem cozidos no forno. São compactados manualmente em formas de madeira (Figura 5) e colocados para secar à sombra, durante certo

número de dias e, depois, ao sol. Para a constituição do barro, a terra deve ser misturada a certa quantidade de areia e argila. De acordo com Vasconcellos (1979), o barro dos adobes tradicionais continha fibras vegetais ou estrume de boi, para melhor consistência dos blocos. Para o assentamento e o emboço dos adobes, também se utilizava o barro, que poderia receber reboco de cal e areia.



(A)

(B)

FIGURA 5 A: Adobes sendo moldados; B: Aspecto final de uma parede de adobes.

Fonte: http://www.projetomariadebarro.org.br/?Pagina=const._ecolog

3.3.1.4 Moledo

Derivada da palavra latina *mol*, que significa quantidade de matéria, a palavra moledo caracteriza uma rocha decomposta de grande massa. Na cidade de Tiradentes, é muito comum a sua presença em fundações ou arrimos de

construções históricas. O aspecto de dois muros feitos de moledo pode ser observado na Figura 6.



(A)

(B)

FIGURA 6 Arrimos de moledo em porões, em que A representa o Sobrado dos Quatro Cantos e B, o Casarão dos Moura, ambos em Tiradentes, MG.

3.3.2 Integridade física x manutenção

A NBR 7190 (Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, 1997) estabelece que toda estrutura deve ser projetada e construída de modo a satisfazer os requisitos básicos de segurança, permanecendo adequada ao uso previsto e suportando todas as ações e outras influências que possam agir durante a construção e durante a sua utilização. Essa norma é recente e posterior à construção de nossos bens históricos, porém, seguramente, seus construtores tinham essas premissas em mente, uma vez que muitas obras, ainda que sem manutenção adequada, permanecem em razoável estado de conservação. Não se deve, entretanto, acreditar que elas continuarão firmes e seguras para as futuras gerações, se não receberem ações preventivas ou corretivas.

A perda de integridade física de estruturas de madeira pode acontecer por diversos fatores, como deformações excessivas ocasionadas pelo excesso de

carga ao qual é submetida; formação de rachaduras devido à retração do material e deteriorações, principalmente por fungos, propiciada pelo acúmulo de umidade, e por insetos (Teles et al., 2008).

A melhor forma de proteger e salvaguardar um bem não é fechá-lo e impedir que as pessoas o conheçam, mas, sim, realizar manutenção contínua e preventiva. Somente assim, resguardando sua segurança física, as pessoas também poderão estar seguras quando vivenciarem os seus espaços. Segundo Choay (2006), o acesso aos bens patrimoniais pode ser liberado, ainda que regulado por algumas formas, entre as quais a redução dos dias e horas de visitas, a limitação do número de visitantes por dia ou a imposição de um trajeto a pé.

A segurança pública deve primar pela garantia da integridade física dos bens históricos. De acordo com Credendio (2008), a prefeitura da cidade de São Paulo interditou, por falta de segurança e risco de desabamento, a igreja da Venerável Ordem Terceira de São Francisco, concluída por volta de 1788 e tombada pelo patrimônio histórico. Segundo o autor, a prefeitura havia constatado infiltrações em toda a estrutura, trincas nas paredes e nos tetos, danos no sistema hidráulico, fiações elétricas aparentes e falta de iluminação de emergência e de alarme contra incêndios. Esse fato demonstra a existência de bens patrimoniais que não recebem manutenção e que têm sua integridade física abalada, a ponto de colocar vidas em risco.

3.4 Deteriorações em estruturas de madeira

Patologias em estruturas são fenômenos tão antigos como os próprios edifícios. Na Mesopotâmia, por volta de quatro mil anos atrás, o Código de Hamurabi, transcrito por Johns (1910), nas leis numeradas de 229 a 233, assinalava regras para prevenir defeitos nos edifícios, sendo esse o primeiro tratado conhecido sobre patologia em construções.

Até o século XIX, afirma Morrell (2002), havia um maior cuidado por parte de projetistas em proteger a madeira das construções contra águas, além de terem à sua disponibilidade madeiras naturalmente mais resistentes. As casas eram construídas em fundações de pedra, a fim de isolá-las do contato com o solo; tinham telhados mais inclinados e beirais maiores, além de serem bem ventiladas, o que permitia a remoção da umidade. Vasconcellos (1979) relatou que, no Brasil colonial, os esteios de madeira eram apoiados em alicerces de alvenaria ou fíncados no chão após serem levemente queimados, a fim de que o carvão superficial impermeabilizasse a estrutura. As vigas baldrames eram apoiadas em socos (embasamentos de pedra) que fechavam o vão entre elas e o solo, isolando-as da umidade. O século XX teria testemunhado mudanças fundamentais nas decisões projetuais, devido à necessidade de economia. Aumentava-se, assim, o potencial de deterioração das construções.

3.4.1 Fatores condicionantes de deterioração em madeira

O termo “deterioração”, conforme descrito por Cavalcante (1982) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT (2001), é uma alteração indesejável nas propriedades de um material, sendo-lhe prejudicial. Como exemplos, citam-se a corrosão em metais e o apodrecimento de madeiras de uma edificação (biodeterioração). Já a palavra “degradação” seria um processo favorável e, por essa razão, frequentemente utilizada pelo homem em seu benefício. Como exemplos, citam-se a formação de carvão através da madeira e a ação de microrganismos sobre resíduos industriais, diminuindo o tempo de permanência desses produtos no ambiente (biodegradação). Sendo assim, neste trabalho, optou-se pelo termo “deterioração”, uma vez que se avaliam estruturas de madeira, em que qualquer dano é prejudicial.

A deterioração de um elemento estrutural de madeira pode ser proveniente de agentes bióticos ou abióticos, que podem atuar isoladamente ou

em conjunto, comprometendo a resistência da madeira. É importante o acesso periódico às suas condições de integridade, reparando ou substituindo os membros deteriorados, a fim de se evitarem falhas estruturais (Ross et al., 2006). A avaliação da integridade estrutural seria a coleta sistemática e a análise de dados relacionados às propriedades físicas e mecânicas do material, seguidas de recomendações relacionadas às partes deterioradas que podem afetar o conjunto estrutural.

3.4.1.1 Agentes bióticos

Dos agentes deterioradores que atuam na madeira, os bióticos são os de maior importância (Cavalcante, 1982), uma vez que a madeira é susceptível a uma variedade de organismos xilófagos. Bactérias podem colonizar e deteriorar madeiras, porém, segundo Belie et al. (2000) e Morrell (2002), os principais agentes xilófagos deterioradores de madeiras utilizadas em edifícios são fungos e insetos, cuja ocorrência acontece em função de condições criadas durante a construção do edifício e por falta de inspeções e manutenções. As propriedades de resistência a esses ataques variam entre diferentes espécies, em uma mesma espécie ou, mesmo, em diferentes regiões de uma madeira.

Avaliando diferentes pilares de madeira holandeses, Klaassen (2008) apresentou uma hipótese considerando a importância do fluxo de água no seu processo de deterioração bacteriana. O autor apresentou um modelo para explicar as diferentes susceptibilidades de algumas espécies de madeira à deterioração e a relação entre o grau de deterioração dos pilares e a umidade ambiental. Para conferir se a resistência à compressão dos pilares de mais de cem anos mudou com o tempo, foi feita uma comparação com madeira recém-abatida, apesar de algumas espécies utilizadas como pilares não terem sido mais encontradas.

Entre os organismos xilófagos, Cavalcante (1982) afirma que os fungos que causam bolores superficiais, manchas ou apodrecimentos são uns dos mais severos destruidores de madeira. Os primeiros alteram apenas a aparência da peça que, aplainada ou lixada, pode ser aproveitada. Os manchadores comprometem definitivamente o aspecto estético da madeira, uma vez que se nutrem de substâncias contidas nas células parenquimáticas, como amido, açúcares e sais minerais.

Segundo IPT (2001), as propriedades mecânicas da madeira são pouco alteradas por esses dois tipos de fungos, uma vez que eles não são capazes de deteriorar as moléculas das paredes celulares. Entretanto, algumas madeiras intensamente atacadas por esses fungos apresentam redução em sua resistência ao impacto e um considerável aumento em sua permeabilidade. Já os fungos apodrecedores apresentam potencialidades deterioradoras dos compostos da parede celular das madeiras, catalisando-os e transformando-os em substâncias menos complexas, que podem ser absorvidas e digeridas. Dessa forma, há progressivas perdas de peso e diminuição das propriedades mecânicas da madeira. Os fungos apodrecedores são agrupados em fungos de podridão branca (aspecto esbranquiçado e esponjoso), parda (aspecto de levemente queimada, com fissuras paralelas e perpendiculares às fibras da madeira) e mole (ataque restrito à superfície da madeira, que pode se destacar com facilidade).

De acordo com Highley (1999), fungos de podridão parda podem reduzir as propriedades mecânicas de uma madeira em torno de 10%, antes que uma perda de massa ou uma deterioração sejam observadas. Quando a perda de massa alcançar de 5% a 10%, as propriedades mecânicas seriam reduzidas de 20% a 80%. Fujii et al. (2007) afirmam que existem duas estratégias para detectar e avaliar a biodeterioração fúngica: detectar os bioagentes direta ou indiretamente ou avaliar a redução da resistência da madeira.

IPT (2001) afirma que o fator mais importante no processo de deterioração da madeira por fungos é a umidade, uma vez que a água é essencial para o desenvolvimento desses organismos. Esse é um caso de ação conjunta entre agentes bióticos e abióticos. Condições ótimas para o ataque de fungos ocorrem quando a umidade está acima do ponto de saturação das fibras. Este nível de umidade pode ocorrer, mesmo quando a madeira foi seca antes de sua aplicação, em situações de exposição com possibilidades de reumidificações ocasionais.

Com relação à temperatura, IPT (2001) relata que a faixa entre 5°C e 65°C permite o desenvolvimento de fungos na madeira; a maioria se desenvolve entre 20°C e 35°C.

Outras características da madeira, incluindo as variações no pH, a aeração e a presença de substâncias tóxicas podem favorecer ou inibir a presença de fungos. Segundo Cavalcante (1982), as substâncias tóxicas presentes na madeira podem ter origens em extrativos naturais presentes no cerne, em microrganismos que as produzem ou na introdução artificial pelo homem.

Quando da construção dos bens históricos brasileiros, ainda não se pensava em preservação química de madeiras como atualmente. Porém, segundo Numazawa & Valle (2008), imigrantes japoneses no estado do Pará realizavam tratamentos de lixiviação, logo após o corte da árvore, colocando os troncos submersos em água corrente e limpa, por duas semanas. Dessa forma, a seiva bruta, principal fonte de alimento de insetos xilófagos, era eliminada. Troncos grandes e muito pesados eram envolvidos com panos constantemente reumedecidos. Vasconcellos (1979) relata que, para as construções, especificava-se, entre a derrubada da árvore e sua utilização, que “decorresse certo lapso de tempo”, destinado a proporcionar uma melhor secagem dos troncos.

O controle e o monitoramento de estruturas de madeira devem ser sempre efetuados, uma vez que os agentes biológicos de deterioração encontram, no Brasil, ambiente ideal para se proliferarem: clima quente e úmido, além da vida curta dos produtos utilizados contra esses agentes. Segundo Ross et al. (1998), a utilização de métodos de avaliação não destrutiva para a detecção de deteriorações incipientes e de umidade, antes que as consequências sejam mais significantes, reduz as perdas por deterioração biológica.

3.4.1.2 Fatores abióticos

Entre os agentes abióticos que podem atuar em estruturas de madeira, ocasionando um processo de deterioração, podem-se citar o sol, o fogo, a presença de ácidos e a abrasão mecânica, além de umidade e de temperatura, consideradas os mais frequentes. De acordo com Morrell (2002), o principal fator condicionante de deteriorações em construções é a umidade, embora a durabilidade do material influencie na suscetibilidade à deterioração.

Uma das condições necessárias para assegurar a longevidade da madeira usada em uma edificação é o constante controle das variações de temperatura e umidade. Segundo Brischke et al. (2007), tais variações dependem do microclima local, determinado por fatores como orientação da construção com relação à insolação e ventilação, existência e eficiência de beirais e sua distância ao piso e contato com solo úmido.

Os elevados índices de umidade nas madeiras de construções são, em geral, resultado de infiltração de águas das chuvas, formação de condensações, presença de água por capilaridade, perdas nas tubulações e insuficientes ventilação e insolação. Wilcox & Dietz (1997), em seu estudo sobre o ataque de fungos em estruturas de madeira sem contato com o solo, verificaram que os organismos que causaram significantes deteriorações foram praticamente os mesmos encontrados na madeira verde antes do uso. A água, uma vez em

contato com a madeira, induziu a atividade dos fungos pré-existentes, fato que os levou a concluir que a água infiltrada na construção teve maior potencial em provocar deterioração do que o clima ao qual a construção estava exposta. A fonte mais comum de água associada à deterioração teria sido a precipitação direta, na forma de chuva, vapor, orvalho ou irrigação e os maiores problemas arquitetônicos teriam sido beirais ausentes ou insuficientes, falta de manutenção, goteiras em telhados, ventilação inadequada e umidade do solo.

Watt (2001), em uma pesquisa sobre os efeitos das condições ambientais em uma capela de Leicester, no Reino Unido, monitorou sua temperatura e umidade absoluta/relativa, durante 14 meses, constatando que as diferenciações de umidade relativa e de temperatura ambiente nesse período eram potenciais causadores de deteriorações na madeira.

Brischke et al. (2007) utilizaram um sistema de gravação automática e periódica de umidade para investigar estruturas de madeira em um edifício com diferentes dimensões de beirais e também em uma ponte. No caso do edifício, foram encontrados diferentes teores de água para diferentes beirais e distâncias do piso; no caso da ponte, foram identificadas condições severas de umidade em pontos enfraquecidos de diferentes componentes estruturais. Os autores afirmam que são necessárias pesquisas que avaliem dados relacionados à durabilidade da madeira em diferentes condições de exposição e que a avaliação do desempenho *in loco* é a maneira mais realística de se obter tais dados, em comparação com testes de laboratório.

Schulze-Hofer (2007), em um estudo sobre as causas de deterioração em casas de imigrantes europeus no Rio Grande do Sul, verificou que a umidade foi o fator abiótico decisivo para as deteriorações de estruturas de madeira. Os piores problemas de umidade foram encontrados em telhados com infiltrações e na ausência ou na danificação de sistemas de escoamento de águas pluviais.

Segundo a autora, mesmo vivendo em um país chuvoso, os brasileiros não dão a relevância necessária à impermeabilização de coberturas.

Algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais, submetidas a processo de deterioração em razão de exposição à umidade, em um período de 12 meses, foram avaliadas por Trevisan et al. (2007). Logo após o abate da árvore, foram confeccionados corpos-de-prova, nos quais foram realizados testes mecânicos. Foram enterradas toras de 150 cm, verticalmente, a uma profundidade de 30 cm, das quais, após 12 meses de exposição, foram retirados corpos-de-prova para a realização dos mesmos testes mecânicos. As análises indicaram reduções diferenciadas nas propriedades de densidade aparente, bem como na resistência à flexão e à compressão paralela às fibras da madeira enterrada em solo úmido.

De acordo Feio & Lourenço (2005), as variações de umidade, com consequentes retrações e inchamentos, são responsáveis por tensões internas na madeira, resultando na abertura progressiva de fendas de secagem e no desenvolvimento de distorções diversas. O efeito de tais fendas na resistência de estruturas de madeira varia com sua extensão, profundidade e com a zona da peça e da seção onde ocorrem. Os autores afirmam que, independentemente do eventual desenvolvimento de fendas, os ciclos associados a variações de umidade conduzem, em geral, a uma perda de rigidez das ligações mecânicas, que se traduz no aumento de flexibilidade e de deformações de todo o conjunto estrutural.

A ação dos raios ultravioletas do sol degrada quimicamente a lignina da superfície da madeira, causando escurecimento em madeiras claras e clareamento nas escuras. A profundidade do dano costuma ter pouca influência em sua resistência, exceto se as camadas superficiais são removidas de forma contínua, reduzindo as dimensões da peça (Calil Junior et al., 2003).

3.5 Diagnóstico e inspeção em estruturas de madeira

O processo de diagnóstico e inspeção de uma estrutura *in-loco* forma apenas uma pequena, ainda que importante parte do seu processo de reabilitação. Em geral, o diagnóstico das características estruturais de um elemento de madeira inclui os seguintes aspectos: identificação e avaliação da qualidade da madeira; avaliação de alterações e danos; determinação de características físico-mecânicas relevantes, tais como umidade, densidade e módulo de elasticidade; sua localização e função estrutural, assim como a avaliação da seção residual resistente (Feio & Lourenço, 2005). Após a completa realização do diagnóstico, uma equipe multidisciplinar deve avaliar os dados e definir uma metodologia de intervenção propriamente dita, a ser adotada a curto, a médio e a longo prazos.

De acordo com Råberg et al. (2007), a falta de utilização de métodos rápidos e eficazes para detectar e quantificar deteriorações em madeira é um dos fatores que retardam o prognóstico em estruturas. Segundo os autores, esses métodos são importantes para o entendimento do modo de ataque de microorganismos, a fim de que se adaptem sistemas de proteção e tratamentos adequados à madeira. A chave para o sucesso desses métodos seria a análise das características mensuráveis de uma deterioração e suas relações com a resistência do material.

As características estruturais da madeira devem ser totalmente compreendidas para a prática de conservação ou restauração. Por isso, são de suma importância informações a respeito do seu estado original e inicial, sobre as técnicas utilizadas na sua construção, sobre as alterações posteriores e seus efeitos, sobre os fenômenos físicos, químicos e biológicos que tenham ocorrido e sobre seu estado atual. De acordo com Milanese & Bittencourt (2006), o diagnóstico deve sempre procurar embasamento nas abordagens históricas (documentos, fotografias, plantas), qualitativas (levantamentos e investigações)

e quantitativas (ensaios, monitoramentos, modelos matemáticos). Os ensaios devem ser realizados, sobretudo, com técnicas não-destrutivas.

3.5.1 Métodos de amostragem para avaliação de propriedades da madeira

Os métodos de amostragem para o levantamento de patologias em madeiras podem ser destrutivos ou não-destrutivos. A avaliação não-destrutiva é definida como sendo a ciência da identificação das propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado material, sem alterar sua capacidade de uso final (Ross et al., 1998). Ainda que exija a retirada de pequenos corpos-de-prova, esse tipo de avaliação geralmente não danifica a capacidade estrutural da madeira, apresentando outras vantagens, como rapidez de execução e relativo baixo custo.

Jayne (1959) iniciou a hipótese fundamental para a avaliação não-destrutiva da madeira propondo que a armazenagem de energia e as propriedades de dissipação da madeira, que podem ser medidas por meio não-destrutivo, seriam controladas pelos mesmos mecanismos que determinam o comportamento estático deste material. Microscopicamente, as propriedades de armazenamento de energia seriam controladas pela orientação das células e pela composição estrutural, fatores que contribuem para a elasticidade estática. Tais propriedades seriam observáveis como frequência de oscilação na vibração ou transmissão da velocidade do som. Desse modo, as medidas de atenuação de ondas acústicas poderiam ser utilizadas para observar a propriedade de dissipação de energia na madeira.

Um mapeamento da integridade da madeira da estrutura de uma construção permite o conhecimento de suas áreas deterioradas e possibilita a avaliação do grau de comprometimento da estrutura. Assim, pode-se estudar a viabilidade do uso de reforços ou de pequenas substituições, antes de sua substituição completa (Valle et al., 2006).

De acordo com Feio & Lourenço (2005), a situação ideal de trabalho para a realização das inspeções e dos ensaios em elementos estruturais de madeira exige alguns requisitos. O primeiro seria a acessibilidade à estrutura, que pode ser realizada por meio de estações elevatórias, cestos, andaimes ou outros, sempre em conformidade com as normas de segurança e prevenção de acidentes. Segundo os autores, a inacessibilidade resulta não só da distância física dos elementos em estudo, mas também da presença de elementos construtivos que impossibilitam a visão e o contato com os elementos a serem examinados, como, por exemplo, as faces superiores das vigas de um pavimento ou os topos das vigas inseridas nas paredes. Outros requisitos são a limpeza das superfícies a serem avaliadas, a utilização de fontes adequadas de iluminação artificial, quando as fontes de luz natural forem insuficientes e a disponibilização de elementos gráficos.

A seguir, são definidos os métodos para avaliação não destrutiva de estruturas de madeira: inspeção visual, sondagens a percussão, trado de incremento, ondas de tensão e os métodos de perfuração controlada pilodyn e resistógrafo.

3.5.1.1 Inspeção visual

A inspeção visual é o método não destrutivo mais simples de exame e diagnóstico para estruturas de madeira, consistindo em um exame direto, a uma distância relativamente pequena, na qual se podem verificar os sinais indicadores de anomalias, defeitos e ataques. Entretanto, Ross et al. (2006) afirmam que uma inspeção visual não pode detectar estágios iniciais de deterioração em madeiras e sugerem que os seguintes sinais de deterioração sejam investigados durante uma inspeção: a presença de corpos frutíferos, que certamente indica problemas de deterioração, apesar de não indicar sua extensão; finas camadas de depressão em superfícies, que podem ser criadas por

bolsas ou vazios de apodrecimento; manchas ou descolorações, além de ferrugem em ferragens conectoras, que indicam presença de umidade; buracos e pós, que caracterizam a atividade de insetos e o crescimento de plantas ou musgos em fendas, rachaduras ou no solo adjacente a uma estrutura, que indicam alto conteúdo de umidade, favorável à deterioração.

Existem elementos estruturais que apresentam deteriorações internas indetectáveis por inspeção visual. Nesses casos, outros métodos não-destrutivos para avaliar a existência e o grau de prováveis deteriorações devem ser aplicados, a fim de se conhecer a integridade estrutural e prever os riscos que danos internos podem causar.

3.5.1.2 Sondagem a percussão

Aliada a uma inspeção visual, a utilização de um instrumento de percussão pode auxiliar no diagnóstico de deteriorações na madeira. Cavalcante (1982) explica que um martelo pode ser utilizado e que, se a batida resultar em um som claro e característico, a madeira encontra-se em bom estado. Por outro lado, um som surdo indica deterioração ou umidade em excesso. De qualquer maneira, esse método de avaliação fornece uma perspectiva qualitativa e subjetiva, que depende da sensibilidade dos avaliadores.

3.5.1.3 Trado de incremento e formão

Os trados de incremento, manuais ou motorizados, são úteis para se extrair pequenas baguetas cilíndricas da madeira, material que pode ser submetido a análises microscópicas (Cavalcante, 1982) ou a outros tipos de análises laboratoriais. Entretanto, nem sempre são ideais para uso em construções históricas, pois deixam furos visíveis na madeira, o que exige seu preenchimento com próteses. Uma alternativa a esse equipamento é um formão,

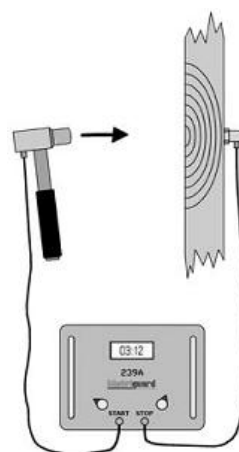
um instrumento de mais baixo custo, que permite a retirada de lascas superficiais da madeira, material que também pode ser submetido a análises laboratoriais.

3.5.1.4 Técnicas de ondas de tensão

De acordo com Ross et al. (2006), o conceito de detecção de deterioração por meio desse método é que a propagação de ondas de tensão é sensível à presença de deterioração na madeira. Em termos gerais, uma onda, emitida por um martelo, passaria mais rápido por uma madeira sadia e de alta qualidade que por uma madeira deteriorada. Sendo assim, medindo-se o tempo de transmissão da onda de tensão entre dois transdutores posicionados na madeira, a uma distância conhecida, a velocidade é determinada, tornando possível estimar o módulo de elasticidade dinâmico da madeira. Na Figura 7, pode-se observar um equipamento temporizador de ondas de tensão (*stress wave timer*).



(A)



(B)

FIGURA 7 A: Equipamento temporizador de ondas de tensão; B: esquema ilustrativo do equipamento em uso em uma peça de madeira.

Fonte: <http://www.metriguard.com/metprod.htm>.

Teles et al. (2008) avaliaram vigas e pilares do prédio Oca II, da Universidade de Brasília, com o auxílio do equipamento *stress wave timer*, utilizado perpendicularmente às fibras da madeira, e concluíram que, apesar da dificuldade relacionada ao posicionamento dos transdutores, o equipamento foi preciso para mensurações ao longo dos elementos estruturais.

Na Figura 8 são apresentadas imagens da utilização do equipamento de ondas de tensão, que pode ser usado tanto em árvores ou estruturas *in loco*, como em tábuas serradas.



(A)



(B)

FIGURA 8 Utilização do temporizador, sendo A: em árvore; B: em viga de madeira.

Fonte: José Tarcísio Lima.

3.5.1.5 Métodos de perfuração controlada: pilodyn e resistógrafo

A perfuração controlada é, geralmente, utilizada para confirmar áreas suspeitas de deterioração identificadas por inspeções visuais ou por transmissões de onda de tensão. Quando a deterioração é detectada, a perfuração pode ajudar a definir mais precisamente sua extensão e limites.

3.5.1.5.1 Pilodyn

O pilodyn funciona por meio da injeção de um pino dentro da madeira, sendo a profundidade alcançada pelo pino acusada em uma escala lateral (Rosado et al., 1983). Quanto maior a deterioração superficial da madeira, maior a profundidade de penetração do pino, que tem 40 mm de comprimento. Essa profundidade pode ser correlacionada com a densidade da madeira. Também está relacionada com as proporções entre cerne e alburno e entre lenho inicial e lenho tardio e com a presença de extrativos na madeira. Na Figura 9, podem ser observadas imagens desse aparelho.



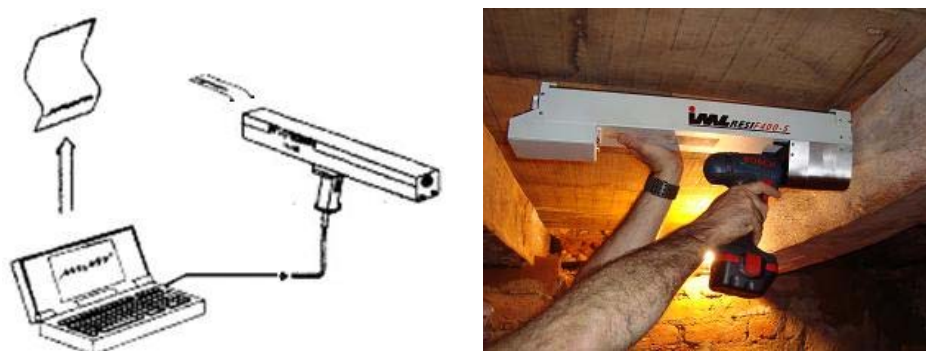
FIGURA 9 Pilodyn, sendo A: com destaque para a escala lateral; B: com destaque para o pino.

3.5.1.5.2 Resistógrafo

O resistógrafo é um aparelho de perfuração controlada que mede a resistência relativa de um material à perfuração por uma broca de aço em rotação, enquanto ela é direcionada pelo material a uma velocidade constante (Ross et al., 2006). O diâmetro da broca é, normalmente, pequeno, de 2 a 5 mm. O sistema produz um gráfico que demonstra um perfil da resistência relativa encontrada em cada caminho percorrido. Segundo o autor, pelo fato de ele revelar a mudança da densidade relativa ao longo do caminho percorrido, o

resistógrafo é tipicamente utilizado para diagnosticar a condição interna de madeiras estruturais.

Na Figura 10 (A) pode-se observar o resistógrafo acoplado a um computador, que processa digitalmente os dados. Na Figura 10 (B) pode ser observada a utilização do aparelho em viga de madeira.



(A) (B)
FIGURA 10 A: Ilustração do resistógrafo acoplado a um computador;
B: Utilização do aparelho em peça de madeira.

O equipamento tem dois sistemas de registro do perfil da perfuração, sendo um em papel, por meio de uma agulha que marca sua superfície e outro, em armazenamento digital. Assim, os perfis podem ser transmitidos a um computador e podem ser visualizados por meio de um *software* que acompanha o equipamento. Pode-se determinar com precisão o comprimento de possíveis deteriorações ao longo da seção perfurada, uma vez que a resolução é milimétrica. Além disso, os valores da profundidade da perfuração, assim como os valores das amplitudes correspondentes, podem ser exportados para uma planilha eletrônica, de forma a permitir os cálculos das médias de amplitudes entre diferentes seções perfuradas.

A tela do *software*, na qual pode ser observado o perfil de perfuração de um pilar de madeira, pode ser vista na Figura 11. Observa-se que, entre cerca de

11 e 12 cm de profundidade da perfuração (eixo x), a seção apresentou amplitude de resistência da madeira à perfuração pela broca quase próxima de zero (eixo y). Isso demonstra que, nesse trecho da seção, a madeira está deteriorada.

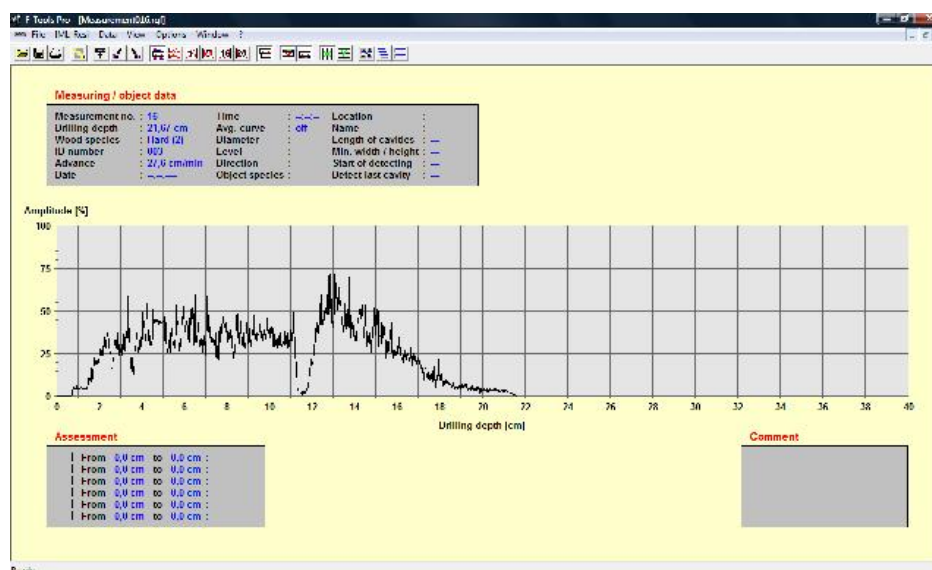


FIGURA 11 Tela do *software* do resistógrafo, com o perfil de perfuração de um pilar.

Lima et al. (2007) utilizaram o resistógrafo para avaliar o perfil diametral da resistência à perfuração do tronco de árvores de eucaliptos e para estimar a densidade básica em função de tal resistência. A densidade da madeira também foi avaliada de forma destrutiva, em discos cortados na mesma região onde havia sido aplicado o resistógrafo. A comparação entre os valores estimados e determinados indicou que o resistógrafo pode ser utilizado na classificação de eucaliptos quanto à densidade.

Valle et al. (2006) aplicaram o equipamento Resistograph® modelo 3450 como ferramenta para avaliação do estado de integridade de peças das

tesouras de um telhado histórico de madeira. Perfis de diferentes furos em uma mesma peça foram comparados e confirmaram a existência de podridão ou de galerias de insetos, possibilitando conclusões sobre as condições estruturais das tesouras.

Lopez et al. (2008) realizaram uma avaliação da resistência mecânica de uma estátua de madeira. Para tal, utilizaram um resistógrafo em nove pontos da circunferência da seção de afloramento (nível do piso), onde ocorriam os maiores esforços de flexão e compressão. Por meio das análises dos resultados, foi feita a reconstituição gráfica da área dessa seção, verificando-se que aproximadamente 54,7% dela apresentavam resistência considerada nula, em função de deterioração biológica. Os autores apresentaram recomendações de ações corretivas a serem adotadas nos trabalhos de restauro. Além disso, foi realizada uma avaliação de sanidade biológica, tendo sido coletadas amostras para identificação da madeira e dos organismos presentes. Concluiu-se que os principais organismos responsáveis pela deterioração foram fungos apodrecedores de podridão branca e parda, mas que também existia uma infestação importante de cupins-subterrâneos.

Freitas (2009) utilizou o resistógrafo para avaliar deteriorações em postes de madeira e sugeriu maneiras de analisar os perfis de perfuração, segundo os seguintes critérios: tipo de redução de resistência à perfuração (abrupta ou gradual), nível residual de resistência da madeira (médio, baixo ou nulo), extensão, posição (superficial, intermediária ou central) e tipo da deterioração (variável ou contínua). A Figura 12 demonstra a forma de análise de um perfil de perfuração pelo autor.



Redução gradual de resistência à perfuração (a partir de 4 cm), madeira deteriorada de resistência nula, deterioração de 7 cm, intermediário-central e contínua. Degradação superficial inicial e final.

FIGURA 12 Forma de análise de um perfil de perfuração, sugerida por Freitas (2009).

3.5.2 Propriedades da madeira

As principais propriedades a serem consideradas em elementos estruturais de madeira são, segundo Gomes (2003), a resistência, a rigidez ou módulo de elasticidade, a densidade e a umidade, os quais serão descritos adiante.

As propriedades de resistência e elasticidade são influenciadas pela natureza anisotrópica da madeira, que faz com que ela apresente reações diferentes de acordo com os três principais eixos de crescimento de suas células (longitudinal ou axial, radial e tangencial).

Neste trabalho, as células da madeira são chamadas de fibras, já que essas são a maioria das células das madeiras de angiospermas ou folhosas, árvores comumente encontradas durante a construção de nosso patrimônio histórico. As fibras são os elementos mais importantes na resistência mecânica do lenho das folhosas, já que desempenham a função de sua sustentação (Burger & Richter, 1991). Nas gimnospermas ou coníferas, não tratadas aqui, essa função é desempenhada pelos traqueídeos.

A direção longitudinal de peças de madeira é coincidente com a orientação das fibras, sendo denominada direção paralela às fibras e caracterizada pelo índice “0”. É aquela que apresenta maiores valores de resistência e de rigidez. Em termos práticos, não é possível fazer distinção entre

as direções radial e tangencial, que são denominadas direção normal (ou perpendicular) às fibras e caracterizadas pelo índice “90”. De acordo com Pfeil (1985), uma vez que os valores das propriedades são muito próximos nessas direções, as propriedades são analisadas segundo duas direções: paralela e normal às fibras.

3.5.2.1 Resistência

As propriedades de resistência descrevem os limites de resistência de um material, quando solicitado por uma força. Para calculá-las, podem ser utilizados, para uma determinada espécie ou classe de resistência a qual a espécie pertence, valores obtidos em ensaios de laboratório ou fornecidos pela norma brasileira de estruturas de madeira, a NBR 7190 (ABNT, 1997). Esses valores são determinados pela máxima tensão aplicada a corpos-de-prova normatizados e isentos de defeitos, até o aparecimento de fenômenos de comportamento além dos quais há restrição de emprego do material em elementos estruturais.

Para a determinação das propriedades de resistência da madeira, a norma brasileira permite que sejam determinadas, no mínimo, as seguintes propriedades: resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c,0}$), resistência à tração paralela às fibras ($f_{t,0}$), resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ($f_{v,0}$) e densidades básica ($\rho_{bas,m}$) e aparente ($\rho_{aparente}$).

3.5.2.1.1 Resistência à compressão

As direções das solicitações às quais a madeira pode se submeter na compressão são a normal, a paralela ou a inclinada em relação às fibras.

Quando a peça é solicitada por compressão paralela às fibras, as forças agem paralelamente à direção do comprimento dessas células. Como as fibras são alongadas, seu conjunto confere grande resistência à madeira nesse tipo de

compressão. Para a solicitação normal às fibras, a madeira apresenta menores valores de resistência, uma vez que entre as paredes celulares existem espaços vazios (os lúmens), os quais são esmagados nesse tipo de esforço. Já para a compressão inclinada em relação às fibras da madeira, adotam-se valores intermediários entre a compressão paralela e a normal (Calil Junior et al., 2003).

3.5.2.1.2 Resistência à tração

Duas são as direções das solicitações às quais a madeira pode se submeter na tração: paralela ou normal às fibras. A ruptura por tração paralela às fibras pode ocorrer por deslizamento entre as células ou por ruptura de suas paredes, sendo que ambos os modos de ruptura apresentam baixos valores de deformação e elevados valores de resistência. Já na ruptura por tração normal às fibras, a madeira apresenta baixos valores de resistência (Calil Junior et al., 2003).

3.5.2.1.3 Resistência ao cisalhamento

Existem três tipos de cisalhamentos que podem ocorrer em peças de madeira. O cisalhamento vertical acontece quando a ação age no sentido perpendicular às fibras, mas não é crítico, pois, antes de romper por esse esforço, a peça já apresenta problemas de resistência devido à compressão normal. No caso do cisalhamento *rolling*, que acontece com a força aplicada perpendicularmente às linhas dos anéis de crescimento da madeira, as células tendem a rolar umas sobre as outras. Já no cisalhamento horizontal, o mais crítico, no qual as forças são aplicadas no sentido longitudinal (paralelo) às fibras, a ruptura se dá pelo escorregamento entre as células (Calil Junior et al., 2003).

3.5.2.1.4 Resistência à flexão simples

Quando a madeira é solicitada à flexão, ocorrem quatro tipos de esforços: compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento horizontal e, na região dos apoios, compressão normal às fibras. A ruptura em peças de madeira solicitadas à flexão simples ocorre pela formação de minúsculas falhas de compressão, seguidas por enrugamentos macroscópicos de compressão. Esse fenômeno gera aumento da região comprimida na seção e redução da região tracionada, a qual pode romper por tração (Calil Junior et al., 2003).

3.5.2.2 Rigidez

O módulo de elasticidade representa a rigidez de um material e seu comportamento na fase elástica. Elasticidade é a capacidade de um material de retornar à sua forma inicial, depois de retirada a ação externa que o solicitava, sem apresentar deformação residual. Segundo Beer & Johnston Junior (1995), chama-se limite de elasticidade ao maior valor de tensão para o qual o material ainda apresenta comportamento elástico. Segundo Gomes (2003), apesar de a madeira não ser um material elástico ideal, já que apresenta deformação residual, ela pode ser considerada como tal para a maioria das aplicações estruturais.

Para a determinação das propriedades de rigidez da madeira, a norma permite que seja determinado apenas o valor médio do módulo de elasticidade na compressão paralela ($E_{c0,m}$). No caso da impossibilidade da execução dos ensaios de compressão paralela, podem-se adotar correlações com os valores do módulo de elasticidade na flexão. Tanto os valores na compressão, como na tração, são considerados equivalentes.

3.5.2.3 Densidade

Densidade, ou massa específica, pode ser definida como a quantidade de matéria lenhosa contida em uma unidade de volume. É a propriedade física mais importante da madeira, pois dela dependem estreitamente suas propriedades mecânicas.

No caso de estruturas, a densidade é utilizada na determinação do peso próprio da madeira da estrutura e o valor adotado pode ser proveniente de uma de duas definições: densidade básica, que é definida como a massa específica convencional, obtida pela razão entre a massa seca da amostra considerada e seu volume verde, ou seja, em máxima expansão e densidade aparente, que é definida pela razão entre a massa e o volume de corpos-de-prova para um conteúdo padrão de umidade de 12%.

3.5.2.4 Umidade

A umidade presente na madeira pode alterar suas propriedades de resistência e elasticidade. Quando a árvore é cortada, a água contida nos lúmens das fibras se evapora, atingindo-se o ponto de saturação das fibras, no qual somente as paredes das fibras estão saturadas. Esse ponto corresponde ao conteúdo de umidade de cerca de 30%. Continuando-se a secagem, a madeira atinge um ponto de equilíbrio com o ar, que depende da umidade atmosférica. A umidade padrão de referência adotada no Brasil é de 12%.

Lima et al. (1986) confirmam que, quase sempre, abaixo do ponto de saturação das fibras, um decréscimo na umidade da madeira provoca um acréscimo nos valores de suas propriedades mecânicas. Para Wilson (1932), tanto a aproximação dos elementos anatômicos da madeira, ocasionada pela retração que acompanha a perda de água, como o fortalecimento da rigidez de seus elementos estruturais, resultam no aumento da resistência da madeira. Stamm (1964) atribuiu esse aumento à contração sofrida pelas unidades

estruturais da madeira, as quais, uma vez aproximadas, diminuem a quantidade de ligações de hidrogênio.

3.5.3 Fatores que influenciam nas propriedades da madeira

Pelo fato de a madeira ser um material biológico, variações na sua estrutura anatômica podem acarretar mudanças nas suas propriedades.

Quanto maior a densidade da madeira, maior é a quantidade de madeira por volume e, teoricamente, maiores são seus valores de resistência. Entretanto, a presença de nós, resinas e extrativos pode aumentar a densidade da madeira, sem, contudo, contribuir para uma melhoria significativa na sua resistência. A influência de um nó depende do seu tamanho, localização, forma, firmeza e o tipo de tensão considerada. Outro aspecto importante é a umidade, cujo decréscimo abaixo do ponto de saturação das fibras, aumenta a resistência mecânica da madeira.

A inclinação das fibras tem influência significativa sobre as propriedades da madeira. O encurvamento do tronco e dos galhos também altera a resistência da madeira, pelo fato de interromperem a continuidade e a direção das fibras. A posição no tronco, de onde a peça avaliada foi retirada, pode reduzir consideravelmente a resistência da madeira, como é o caso das regiões do alburno ou da medula, que facilitam ataques biológicos. A presença de faixas de parênquima, que apresentam baixa densidade, também confere pouca resistência mecânica à madeira.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os objetos deste trabalho foram elementos estruturais em madeira, de caráter histórico, situados na cidade de Tiradentes, MG, um dos conjuntos arquitetônicos mais ricos e preservados da Trilha dos Inconfidentes, na Estrada Real mineira. No total, foram avaliadas 32 vigas biapoiadas, sendo 4 inclinadas, e 5 pilares.

A metodologia de pesquisa se desenvolveu de acordo com quatro fases: visitas e inspeções preliminares, apoios institucionais, definição da cidade e das edificações objetos de estudo e avaliação da deterioração das estruturas de madeira.

4.1 Fase 1: visitas e inspeções preliminares

De posse de um mapa da Trilha dos Inconfidentes, foram realizadas visitas técnicas a algumas cidades, para que se pudesse ter uma visão geral a respeito da condição de seu patrimônio em madeira. Foram visitadas dez cidades: Carrancas, Conceição da Barra de Minas, Coronel Xavier Chaves, Entre Rios de Minas, Ibituruna, Lagoa Dourada, Nazareno, Resende Costa, Ritópolis e Tiradentes. Nesta fase, os métodos de avaliação utilizados foram a inspeção visual e a sondagem a percussão. As edificações foram registradas em fotografias (Anexo 1). Ademais, foram realizados contatos com os proprietários dos edifícios de interesse e com as prefeituras das respectivas cidades.

4.2 Fase 2: apoios institucionais

Para receber apoios institucionais e informações para a continuidade da pesquisa, foram realizados contatos e entrevistas com representantes dos seguintes órgãos de preservação do patrimônio: Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais (IEPHA/MG), Instituto do Patrimônio

Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), Instituto Estrada Real e Circuito Turístico Trilha dos Inconfidentes. O apoio desses órgãos foi fundamental para a realização deste trabalho.

4.3 Fase 3: definição da cidade e das edificações objetos de estudo

Uma vez que, na grande maioria das edificações visitadas em cidades da Trilha dos Inconfidentes, o patrimônio em madeira já havia sido substituído e, tendo recebido sugestões, por parte de representantes dos órgãos parceiros, de edificações na cidade de Tiradentes, optou-se pela realização deste trabalho em imóveis dessa cidade.

Os critérios de seleção das edificações objeto de estudo levaram em consideração a existência de estruturas de madeira deterioradas ou expostas a agentes condicionantes de deteriorações. Além disso, foi fundamental o interesse dos órgãos de preservação e, principalmente, dos proprietários, em participarem deste trabalho.

Foram selecionadas quatro construções históricas e três sistemas estruturais diferentes: vigas simples, pilares e vigas inclinadas (espigões de telhado). Por meio de registros documentais disponibilizados pela sede do IPHAN no município e por inspeções técnicas *in loco*, cada edificação foi estudada em seu contexto histórico-cultural e arquitetônico. Identificaram-se as técnicas e os materiais usados em sua construção, assim como os possíveis acréscimos de materiais e as alterações construtivas sofridas ao longo dos anos. Verificaram-se a orientação da estrutura em relação à insolação e à ventilação, a existência e a eficiência de beirais e o eventual contato das estruturas com água. Realizaram-se medições para que plantas baixas e detalhes relevantes das edificações pudessem ser desenhados. Fotografias foram tomadas para enriquecer cada descrição. As construções escolhidas foram: Casarão dos

Moura, Museu Padre Toledo, Sobrado dos Quatro Cantos e Sobrado Ramalho. A seguir, é apresentada a descrição de cada construção.

4.3.1 Casarão dos Moura

O Casarão dos Moura, situado à rua Direita, faz esquina com o beco do Zé Moura. Na Figura 13, podem ser observadas suas fachadas frontal e lateral e a fachada posterior.



(A)

(B)

FIGURA 13 Casarão dos Moura, sendo A: fachada frontal e lateral; B: fachada posterior.

Construído em estrutura autônoma de madeira e vedações em adobe e moledo, com fundações de pedras, o casarão possui um pavimento térreo e um porão, criado em função do declive do terreno ao longo do Beco. Parte do piso do casarão, em tabuado de madeira e os barrotes (vigas) que os sustentam formam a cobertura do porão. Os elementos estruturais escolhidos para estudo nessa residência foram dezesseis vigas do seu porão, devido à facilidade de acesso e à originalidade das vigas.

4.3.2 Museu Padre Toledo

O Museu Padre Toledo situa-se à rua de mesmo nome, no largo do Sol, em uma casa que pertenceu ao inconfidente Padre Toledo e que é reconhecida como um dos imóveis mais importantes do patrimônio arquitetônico mineiro do ciclo do ouro. Segundo a tradição, ali se encontravam os conjurados para tramar a rebelião que libertaria o Brasil de Portugal. Ponto estratégico, por sua importância no cenário urbano da cidade e por sua importância histórico-cultural, abriga, atualmente, o museu pertencente à Fundação Rodrigo Melo Franco de Andrade.

A fachada frontal do museu e a estrutura interna de seu telhado podem ser observadas na Figura 14.



FIGURA 14 Museu Padre Toledo, sendo A: fachada frontal; B: estrutura do telhado.

Erguida no início da segunda metade do século XVIII, a casa era um solar de andar único, que recebeu um torreão posterior. Seu sistema estrutural mescla pedra seca nas fundações, moledo nas alvenarias externas, adobe e pau-a-pique nas internas. Os forros são quase todos em gamela e pintados com motivos rococó, raridade na arquitetura civil do período.

O museu é uma atividade fundamental dentro do circuito turístico e cultural de Tiradentes, mas o grande fluxo de visitantes afetou, em parte, o barroteamento dos pisos e a pintura dos forros que, com o escorregamento das telhas em função da trepidação e também da falta de manutenção, foi afetada por umidade.

A avaliação de estruturas de madeira nessa construção se baseou no telhado da parte original, onde foram estudados os quatro espigões (vigas inclinadas) e os quatro pilares de sustentação da cumeeira.

4.3.3 Sobrado dos Quatro Cantos

O sobrado dos Quatro Cantos, situado à rua Direita, esquina com a rua da Câmara, pertence ao IEPHA-MG e é sede da Biblioteca Pública Municipal e do Centro de Cultura e Patrimônio, Memória e Cidadania de Tiradentes.

Na Figura 15 podem ser observadas sua fachada frontal e lateral e a fachada posterior.



(A)



(B)

FIGURA 15 Sobrado dos Quatro Cantos, sendo A: fachada frontal e lateral; B: fachada posterior.

Construído em estrutura autônoma de madeira e vedações em adobe, pau-a-pique e taipa, com fundações de pedras, o sobrado foi restaurado pelo

IEPHA-MG, em 2002. Suas paredes e telhado, que estavam ruindo, foram reconstruídos de acordo com o original. A casa possui quatro porões, também criados devido ao declive do terreno. Alguns barrotes (vigas) foram substituídos, mas a maioria foi mantida, conformando a cobertura dos porões. Tais vigas, onze no total, foram os elementos estruturais escolhidos para estudo nessa edificação.

4.3.4 Sobrado Ramalho

No sobrado Ramalho, situado à rua da Câmara, esquina com a rua Direita, funciona a sede municipal do IPHAN. Na Figura 16 estão retratadas as fachadas frontal e lateral direita e a relação do edifício, no primeiro plano, à direita, com o casario do entorno e a matriz, ao fundo.



FIGURA 16 Sobrado Ramalho, em que A: fachada frontal; B: inserção do edifício na Rua da Câmara.

Nos arquivos do IPHAN presume-se que o sobrado seja de fins do século XVIII ou do início do XIX, momento de consolidação do espaço urbano e de surgimento das construções civis mais sólidas e imponentes. Os vestígios encontrados em seu interior, como o portal decorado em um cômodo sem janelas, caracterizando um oratório particular e a senzala, permitem supor que o

sobrado pertenceu a uma família abastada e que foi construído prioritariamente para uso domiciliar. Entretanto, seu pavimento inferior permitia um uso alternativo e a memória oral da comunidade registra a informação de que ali teria funcionado um posto de recolhimento da tributação colonial, denominado “quinto”.

Foi no primeiro pavimento que se encontraram um pilar e uma viga interessantes para esse estudo. O pilar apresenta-se continuamente íntegro, aparentemente sem biodeteriorações, e a viga, sem biodeteriorações, mas com trincas na face de tração. Na Figura 17, podem ser observados esses elementos estruturais.



(A)



(B)

FIGURA 17 Aspecto do pilar e da viga estudados no Sobrado Ramalho.

4.4 Fase 4: avaliação da deterioração das estruturas de madeira

Nesta fase, as estruturas seleccionadas foram avaliadas tanto em laboratório como *in loco*, conforme descrito a seguir.

4.4.1 Avaliações em laboratório

Com amostras retiradas das estruturas por meio de um formão, foram realizadas as análises de densidade, pelo método de imersão em água normatizado pela NBR 7190 (ABNT, 1997). As análises foram feitas no Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira, da Universidade Federal de Lavras.

Como não era objetivo deste trabalho, não foram identificadas as espécies das madeiras das estruturas, nem tampouco os organismos xilófagos presentes nas amostras.

4.4.2 Avaliações *in loco*

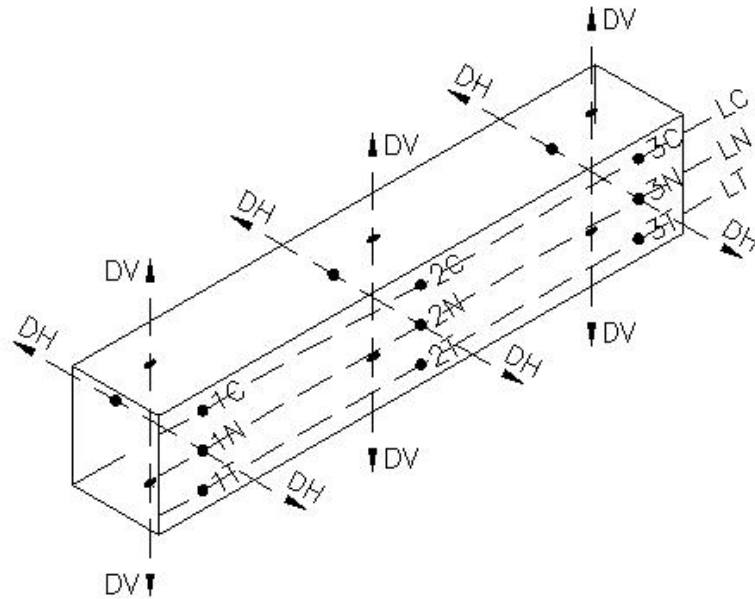
As avaliações *in loco* foram realizadas com os equipamentos *stress wave timer*, pilodyn e resistógrafo, conforme descrito a seguir.

4.4.2.1 *Stress wave timer*

Primeiramente, para confirmar as suspeitas de deterioração identificadas por inspeção visual, foi utilizada a técnica de onda de tensão, por meio do equipamento *Stress wave timer*, modelo 239A, da fabricante Metriguard. O equipamento mede o tempo de propagação de uma onda de tensão por uma distância conhecida, o que permite o cálculo da velocidade (v) de sua propagação. Com esse valor, e conhecendo-se o valor da densidade (ρ) da madeira (obtido de acordo com o item 4.4.1), estimou-se o módulo de elasticidade dinâmico correspondente, por meio da equação: $MOEd = 1/9,804 * v^2 * \rho$.

Na maioria das vigas, o equipamento foi aplicado em três trechos: de 1 a 2 (apoio ao centro), de 3 a 2 (apoio ao centro) e de 3 a 1 (apoio a apoio), em cada uma das linhas: de compressão (LC), neutra (LN) e de tração (LT). Na

Figura 18 observam-se as direções, linhas e pontos em que foram utilizados os equipamentos *stress wave timer*, pilodyn e resistógrafo nas vigas avaliadas.



LEGENDA (aplicação do *stress wave timer*):

1C a 2C: trecho de apoio a centro, na LC;
 3C a 2C: trecho de apoio a centro, na LC;
 3C a 1C: trecho de apoio a apoio, na LC;
 1N a 2N: trecho de apoio a centro, na LN;
 3N a 2N: trecho de apoio a centro, na LN;
 3N a 1N: trecho de apoio a apoio, na LN;
 1T a 2T: trecho de apoio a centro, na LT;
 3T a 2T: trecho de apoio a centro, na LT;
 3T a 1T: trecho de apoio a apoio, na LT;
 LC = Linha de compressão;
 LN = Linha neutra;
 LT = Linha de tração.

LEGENDA (aplicação do pilodyn):

1N, na DH;
 2N, na DH;
 3N, na DH;

LEGENDA (aplicação do resistógrafo):

DH = direção horizontal;
 DV = direção vertical.

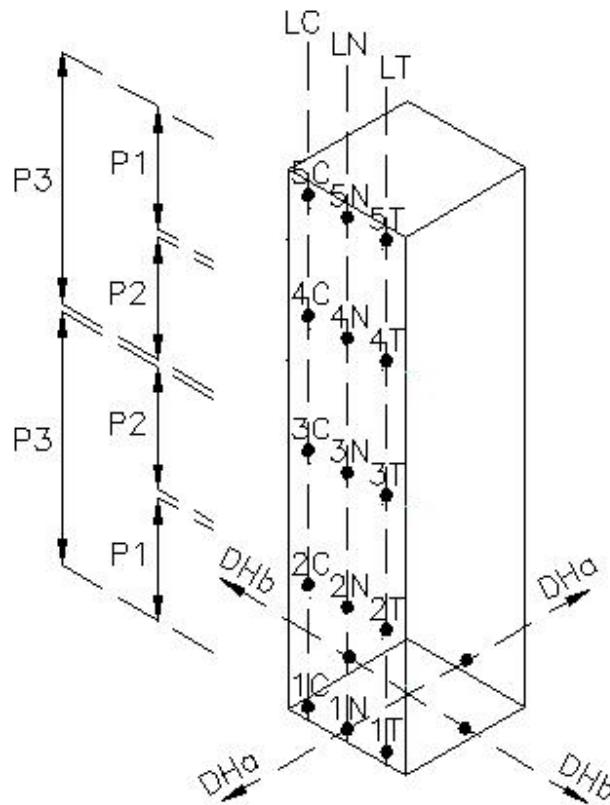
FIGURA 18 Diagrama de direções, linhas e pontos de aplicação dos equipamentos em vigas.

Para a análise de variância das vigas, apenas os dados dos trechos de 1 a 2 e de 3 a 2 foram utilizados, pois representavam repetições de apoio ao centro. Para análise dos resultados, o modelo de análise de variância admitido foi o

inteiramente casualizado, em esquema fatorial com dois fatores (viga e linha). O aplicativo utilizado nas análises foi o SISVAR (Ferreira, 2000) e o nível máximo de erro admitido nas rejeições das hipóteses foi de 5%.

Em alguns poucos casos, quando as vigas eram bem mais compridas que a maioria, elas foram divididas em quatro ou seis trechos. Nesses casos, não houve repetição de dados colhidos dos apoios ao centro, tornando impossível a participação da viga na análise de variância. Assim, elas foram avaliadas qualitativamente.

Já em pilares, o *stress wave timer* foi utilizado em trechos formados por cinco pontos equidistantes, também nas linhas de compressão (LC), neutra (LN) e de tração (LT). Os dados obtidos nos trechos de 1 a 2 e de 5 a 4 foram as repetições da Posição 1 (P1). Os dados dos trechos de 2 a 3 e de 4 a 3, da posição 2 (P2). A posição 3 (P3) foi formada pelos trechos de 1 a 3 e de 5 a 3. A Figura 19 mostra as direções, linhas, pontos e posições em que foram utilizados os equipamentos *stress wave timer* e resistógrafo nos pilares avaliados.



LEGENDA (aplicação do *stress wave timer*):

P1: trechos de 1 a 2 e de 5 a 4, nas LC, LN e LT;

P2: trechos de 2 a 3 e de 4 a 3, nas LC, LN e LT;

P3: trechos de 1 a 3 e de 5 a 3, nas LC, LN e LT;

LC = Linha de compressão;

LN = Linha neutra;

LT = Linha de tração.

LEGENDA (aplicação do resistógrafo):

DHa = direção horizontal a;

DHb = direção horizontal b.

FIGURA 19 Diagrama de direções, linhas, pontos e posições de aplicação dos equipamentos em pilares.

Para as análises de variância dos dados dos pilares, o modelo admitido foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial com três fatores (pilar, linha e posição). O aplicativo utilizado nas análises de variância foi o SISVAR (Ferreira, 2000) e o nível máximo de erro admitido nas rejeições das hipóteses foi de 5%.

4.4.2.2 Pilodyn

Após a avaliação com o *stress wave timer*, foi utilizado o *pilodyn*, possibilitando a correlação entre a profundidade da penetração de seu pino com a densidade superficial da madeira. Os furos foram realizados nos pontos 1N, 2N e 3N, conforme Figura 18. Esse equipamento somente foi utilizado no Casarão dos Moura e no Sobrado dos Quatro Cantos, edificações onde somente vigas foram avaliadas.

4.4.2.3 Resistógrafo

O resistógrafo, modelo Resistograph® F-400S, do fabricante *IML*, foi utilizado para perfurar seções com uma broca de aço de 400 mm de comprimento e 3 mm de espessura.

Tanto em vigas como em pilares, a princípio, foram realizadas perfurações somente a partir dos pontos da linha neutra, através dela, na direção DH (Figura 18) e DHa (Figura 19). Em seguida, perfurou-se outra seção, perpendicular à primeira, seguindo-se as direções DV (Figura 18) e DHb (Figura 19), que passam pelas linhas de tração (LT), neutra (LN) e de compressão (LC). Dessa forma, foram produzidos gráficos que demonstram a resistência da madeira à perfuração da broca ao longo de dois caminhos percorridos por ela na mesma seção transversal.

Para a análise de variância, o modelo admitido foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial com um fator (direção) ou com dois fatores (viga e direção ou pilar e direção). O aplicativo utilizado nas análises de variância foi o SISVAR (Ferreira, 2000) e o nível máximo de erro admitido nas rejeições das hipóteses foi de 5%.

4.4.2.4 Correlação entre amplitudes e densidade e amplitudes e velocidade

A fim de se correlacionar os valores de amplitude média para cada direção de aplicação do resistógrafo, tanto com os valores médios de densidade como com os valores de velocidade de propagação de ondas de tensão, emitida pelo *stress wave timer*, foram determinadas as médias de cada variável entre as estruturas de uma mesma edificação. Elementos estruturais que não puderam entrar na análise de variância de amplitude não tiveram seus dados correlacionados. As correlações foram testadas pelo teste T (Student), conforme descrito por Ferreira (2005).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Visitas e inspeções preliminares

As principais edificações visitadas nas cidades da Trilha dos Inconfidentes foram suas igrejas, construídas nas ruas que seguem as trilhas deixadas pelos bandeirantes. Por serem símbolos sagrados e alvo de preocupações das comunidades em diversas gerações, na maioria das vezes, identificou-se que as mesmas passaram por reformas arbitrárias, em que a intenção era dar continuidade à utilização do bem, com segurança para a população. Sendo assim, as substituições não se fundamentaram em valores históricos e estéticos, o que pode ser justificado pela inexistência de uma consciência do valor da preservação e pela falta de fiscalização na ocasião da reformas. Na Tabela 1 encontram-se as cidades e seus patrimônios visitados, com a descrição das principais características encontradas.

Com exceção da cidade de Tiradentes, pouco se encontrou de madeira original. A madeira, comum em pisos, cimalhas e forros de construções históricas, foi substituída. Nos pisos, muitas vezes, foram encontrados cerâmica ou ladrilhos hidráulicos, pisos típicos do século XX. Na Figura 20 estão ilustrados alguns bens visitados e, no Anexo 1, observam-se fotografias de todas as edificações visitadas nas cidades da Trilha.

Espera-se que, a partir de agora, inseridas no contexto do turismo cultural da Trilha dos Inconfidentes, incentivadas por ações governamentais, auxiliadas e fiscalizadas pelos institutos do patrimônio histórico, as comunidades se conscientizem da necessidade de preservação da originalidade de cada parte de um bem, evitando-se mais perdas patrimoniais.

TABELA 1 Cidades e edificações visitadas na Trilha dos Inconfidentes.

Cidade	Bem imóvel visitado	Características
Carrancas	Capela N. Sra. do Porto do Saco	Piso em ladrilho; forro substituído; altar original.
Conceição da Barra de Minas	Santuário de N. Sra. da Conceição	Parte do piso em ardósia, parte original; forro substituído; cimalha original.
	Igreja de Santo Antônio	Piso em ladrilho; forro substituído.
	Igreja N. Sra. do Rosário	Piso em ladrilho; forro substituído; altar original.
Coronel Xavier Chaves	Capela de N. Sra. do Rosário Matriz de N. Sra. da Conceição	Capela em pedra seca. Construída no século XIX.
Entre Rios de Minas	Igreja Matriz de N. Sra. das Brotas	Construída no século XX.
	Hospital Cassiano Campolina	Construída no século XX.
Ibituruna	Matriz de São Gonçalo do Amarante	Piso cerâmico; forro substituído.
	Igreja N. Sra. do Rosário	Piso em ladrilho; forro substituído.
Lagoa Dourada	Igreja do Bom Jesus de Matozinhos	Piso em ladrilho; forro substituído; altar original.
	Igreja Matriz de Santo Antonio	Piso em ladrilho; parte do forro substituído, parte original; altar original.
Nazareno	Igreja N. Sra. do Rosário	Piso em ladrilho; forro substituído; altar original.
	Matriz de N. Sra. de Nazaré	Construída no século XIX.
Resende Costa	Igreja N. Sra. da Penha de França	Reconstruída no século XX.
Ritópolis	Matriz de Santa Rita de Cássia	Piso em ladrilho; forro substituído.
Tiradentes	Casarão dos Moura Museu Padre Toledo Sobrado dos Quatro Cantos Sobrado Ramalho	*

*As características desses bens serão descritas no próximo item.



(A)



(B)



(C)



(D)

FIGURA 20 Interiores de igrejas da Trilha dos Inconfidentes, todas com pisos de ladrilho e forros substituídos, sendo A: Capela N. Sra. do Porto do Saco, em Carrancas; B: Igreja N. Sra. do Rosário, em Ibituruna; C: Igreja N. Sra. do Rosário, em Nazareno e D: Igreja N. Sra. do Rosário, em Conceição da Barra de Minas.

5.2 Avaliação da deterioração das estruturas de madeira das edificações

As estruturas selecionadas para avaliação são de quatro construções históricas da cidade de Tiradentes: o Casarão dos Moura, o Museu Padre Toledo, o Sobrado dos Quatro Cantos e o Sobrado Ramalho.

É importante ressaltar que os valores de módulo de elasticidade dinâmico estimados para as estruturas avaliadas estão em conformidade com os valores encontrados por Gomes (2007) e Nogueira (2007). O resultado das avaliações é descrito a seguir.

5.2.1 Casarão dos Moura

Na Figura 21 está representada, graficamente, a planta do porão do casarão, com as 16 vigas estudadas em destaque. Os resultados são descritos a seguir.

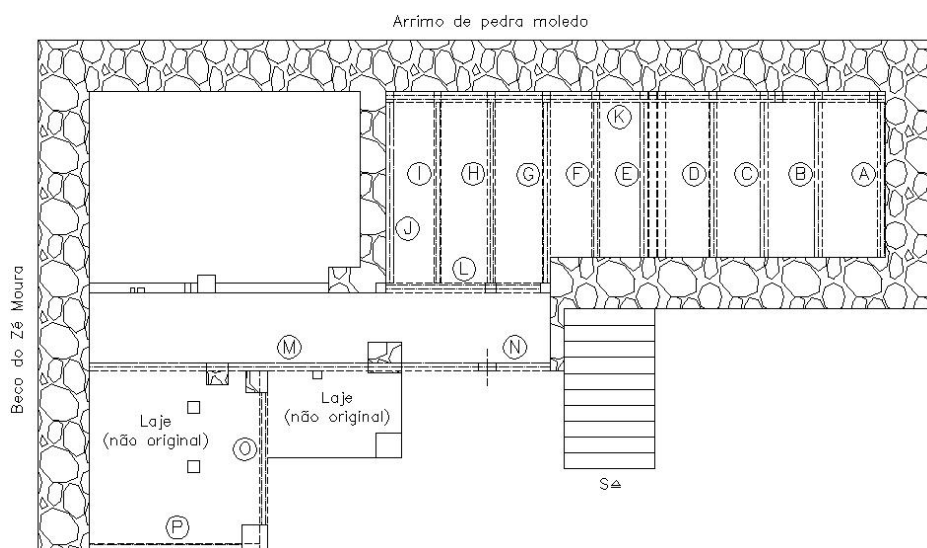


FIGURA 21 Representação gráfica da planta do porão do Casarão dos Moura, com destaque para as vigas avaliadas (sem escala).

Nas avaliações *in loco*, foram utilizados os equipamentos *stress wave timer*, o pilodyn e o resistógrafo, além de um formão, para a retirada de uma amostra de cada viga, utilizada na determinação da densidade média da viga em laboratório.

5.2.1.1 *Stress wave timer*

Primeiramente, serão discutidos os resultados obtidos para as vigas de A a P, com exceção das vigas K e M, que tiveram de ser avaliadas qualitativamente, pelo fato de serem mais compridas e terem sido divididas em mais pontos, o que impossibilitou a participação na análise de variância.

Os dados da Tabela 2 representam os resumos das análises de variância para as variáveis velocidade e módulo de elasticidade dinâmico. Os resultados do teste F indicam diferenças significativas entre as vigas, independentemente das linhas, tanto para valores de velocidade ($P < 0,0012$), como para módulo de elasticidade ($P < 0,0087$), o que era esperado, já que as vigas se encontram em diferentes estados de conservação.

TABELA 2 Resumo da análise de variância de velocidade e módulo de elasticidade dinâmico.

FV	GL	Velocidade (m/s)		Módulo de Elasticidade (kg/cm ²)	
		QM	Pr > Fc	QM	Pr > Fc
VIGA	13	321173	0,0012	241030354	0,0087
LINHA	2	432564	0,0147	192069411	0,1328
VIGA * LINHA	25	82316	0,6107	80720302	0,6113
ERRO	40	92146		90412445	
TOTAL	80				
CV		22,02%		87,60%	

Conforme se observado na Tabela 3, a viga N, apesar de estatisticamente igual a outras quatro, apresenta tendência maior de médias de velocidades e módulos. As vigas que apresentaram menores médias foram A, B, C, D, E, G, I e J. As intermediárias foram H, O e P. As vigas F e L apresentaram médias intermediárias ou inferiores, dependendo da variável analisada.

TABELA 3 Médias de velocidades e de módulo de elasticidade das vigas.

VIGA	Médias velocidades (m/s)	VIGA	Médias módulos de elasticidade (kg/cm ²)
D	1099 a	D	6053 a
A	1182 a	I	6216 a
C	1219 a	J	6498 a
I	1247 a	C	7261 a
J	1262 a	B	7486 a
B	1265 a	A	7685 a
E	1277 a	G	7708 a
G	1293 a	E	9007 a
L	1368 a	F	9565 a
F	1416 ab	P	11549 ab
O	1471 ab	L	11709 ab
P	1510 ab	H	13237 ab
H	1611 ab	O	15741 ab
N	2024 b	N	30489 b

*Médias seguidas de mesma letra, no sentido de coluna, não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

A viga N, segundo informação do proprietário, foi criada como substituição parcial da viga M. Apesar de apresentar-se, em parte, com uma coloração escura, o que, a princípio, indica deterioração, foi a que apresentou

mais integridade das vigas do porão. Esse resultado se deve ao fato de ser uma viga mais nova e, também, devido à posição em que se encontra, ou seja, no exterior, onde a movimentação constante de ar retira a umidade que chega até ela por chuvas esporádicas. Sua coloração escura pode ser justificada pela deterioração fotoquímica provocada pela radiação solar, uma deterioração superficial e pouco severa.

Com relação às vigas O e P, que delimitam uma laje não original, sobre a qual foi construída uma cozinha, pode-se dizer que acontece o mesmo. São vigas mais recentes, que sofrem menos com infiltração de águas, devido à movimentação do ar.

A viga H é interna ao porão, mas se situa em sua área mais ventilada, com menos possibilidades de permanecer úmida, apesar de não receber luz solar direta. Talvez por isso, e pelo fato de não se apoiar em muros úmidos de moledo, não tenha sido estatisticamente diferente das vigas N, O e P.

A viga F se agrupou junto às vigas de médias intermediárias para a variável velocidade. Já para módulo de elasticidade, ela se agrupou junto às vigas de menores médias. Esse resultado não era esperado, uma vez que os valores de módulo de elasticidade são calculados em função da velocidade. Outra variável para o cálculo do módulo é a densidade. Pode-se supor que a amostragem para a determinação da densidade dessa viga não tenha sido representativa. Situação semelhante aconteceu com a viga L, porém, com uma inversão: para velocidade, apresentando menores médias e, para módulo, médias intermediárias.

Com relação às vigas que apresentaram menores médias para as duas variáveis analisadas (vigas A, B, C, D, E, G, I e J), apesar de algumas particularidades, a justificativa se baseia no fato de serem vigas de um microclima interno constantemente úmido, principalmente devido à falta de

insolação e ventilação suficientes e aos muros de arrimo de moledo. As vigas Ae J têm toda sua extensão encostada nos arrimos.

Conforme dito anteriormente, as vigas K e M foram avaliadas qualitativamente. As vigas foram divididas em cinco pontos e os trechos avaliados variaram de viga para viga, de acordo com a possibilidade de acesso aos seus pontos. Como, de acordo com os dados da Tabela 8, nas vigas avaliadas anteriormente, não houve diferença significativa entre as linhas de aplicação do aparelho para os valores médios de módulo de elasticidade, para as vigas K e M adotaram-se as mesmas considerações.

As médias dos módulos de elasticidade de todos os trechos avaliados, na linha neutra, para cada viga do Casarão dos Moura, são apresentadas na Figura 22. As vigas K e M podem ser agrupadas juntamente com as vigas que tiveram os menores valores. Conforme observado anteriormente, na Tabela 9, observa-se que a viga N e também as vigas F, H, L, O e P apresentaram maiores médias.

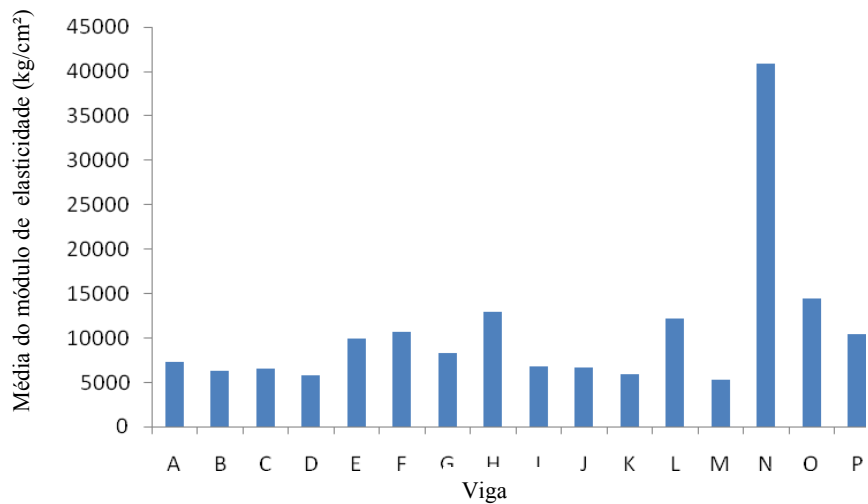


FIGURA 22 Médias de módulos de elasticidade para cada viga do Casarão dos Moura.

A viga K, muito comprida e robusta, é inteiramente encostada no arrimo e, por esse motivo, está sujeita à umidade de contato. Nela, foram utilizados os valores de módulo de elasticidade dos trechos de 1 a 2, de 2 a 3, de 3 a 4 e de 4 a 5, para possibilitar uma análise gráfica ao longo da viga, resultado apresentado na Figura 23. Os trechos dos extremos apresentaram valores de módulos maiores e semelhantes, enquanto o trecho de 3 a 4, seguido pelo trecho de 2 a 3, apresentou menores valores. Pelo fato de ser uma viga muito extensa (9,7 m), sua região central, provavelmente, é muito solicitada estruturalmente, comparando-se com os extremos.

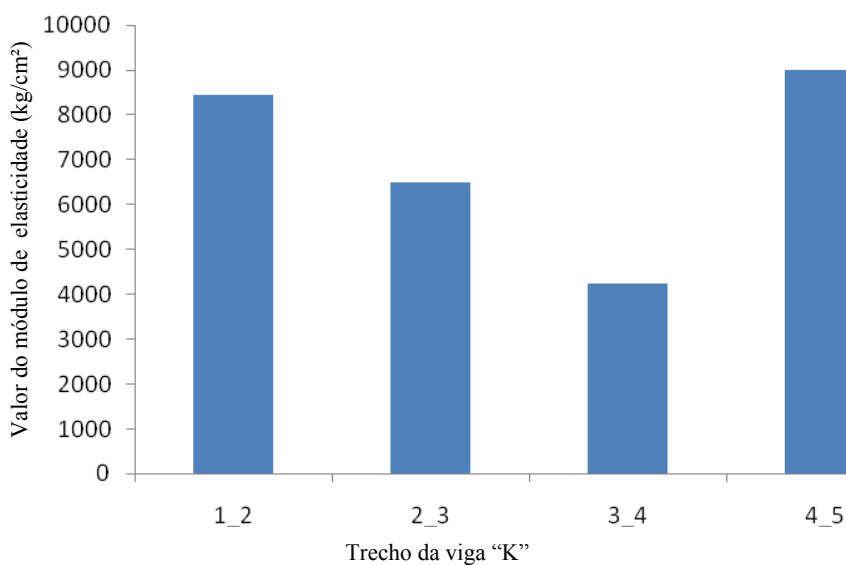
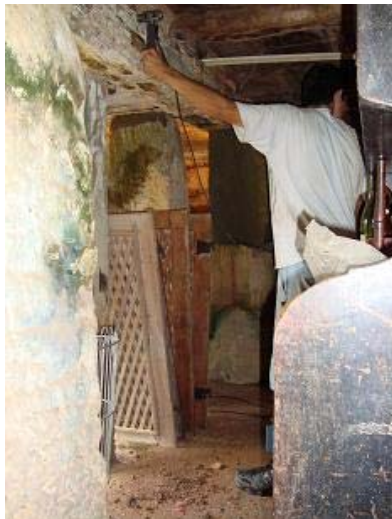


FIGURA 23 Valores de módulos de elasticidade dos quatro trechos da viga K.

Para a viga M não foi feito o mesmo estudo gráfico, já que não foi possível obter os dados, em nenhuma das linhas, dos trechos 2 a 3, 3 a 4 e 4 a 5, devido à impossibilidade de se apoiar os transdutores do aparelho nos pontos 3 e 4. O máximo obtido para se ter pelo menos uma medida da ordem de grandeza dos valores de módulo de elasticidade ao longo do comprimento da viga, foram os dados dos trechos de 1 a 2 (11.259,25 kg/cm²) e de 2 a 5 (264,72 kg/cm²). Nota-se que o segundo trecho apresentou um valor muito inferior ao primeiro, sugerindo deterioração interna, suspeita pela deterioração superficial, que impossibilitou o apoio dos transdutores do aparelho.

Em um dos trechos, próximo ao ponto 3, uma massa de cimento foi adicionada à viga, na tentativa de aumentar sua integridade física, como pode ser observado na Figura 24.



(A)



(B)

FIGURA 24 Aspecto da viga M, sendo A: quando se aplicou uma martelada e partes deterioradas se desprenderam e caíram ao chão; B: com adição de massa de cimento.

A viga M, que teve parte substituída, criando-se a viga N, já foi limitante do porão, até serem acrescentadas duas lajes para se construírem cozinha e instalação sanitária. Somente uma pequena parte dela se encontra exposta às intempéries, justamente uma parte de coloração escura, o que confirma a questão da deterioração fotoquímica evidenciada na viga N.

5.2.1.2 Pilodyn

Os dados da Tabela 4 representam os valores da profundidade de penetração do pino, em milímetros, para todos os pontos perfurados das vigas A a K, no Casarão dos Moura. É importante ressaltar que, quanto maior o valor de penetração do pino, maior pode ser a deterioração superficial da madeira.

TABELA 4 Valores (mm) da profundidade de penetração do pino do pilodyn.

PONTO	VIGA										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	34	31	33	24	34	32	30	34	31	31	33
2	35	25	28	32	34	33	32	32	32	30	33
3	34	29	32	28	33	32	30	34	31	31	33
4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	35
5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	36
MÉDIA	34,3	28,3	31,0	28,0	33,7	32,3	30,7	33,3	31,3	30,7	34,0

Observa-se que as maiores médias foram apresentadas pelas vigas A e K, indicando maiores deteriorações superficiais. Além disso, a viga A apresentou baixa velocidade de propagação de ondas de tensão e baixo módulo de elasticidade (Tabela 3), em uma comparação entre as vigas avaliadas pelo *stress wave timer*. Com a viga K aconteceu o mesmo, de acordo com a Figura 22. Esses casos sugerem que as deteriorações superficiais teriam correspondência internamente. Entretanto, a viga D, que apresentou a menor média de profundidade de penetração do pino, o que indica menor deterioração superficial, também apresentou baixa velocidade e módulo (Tabela 3), o que sugere deterioração interna. Nesse caso, os dados do *stress wave timer* não confirmaram o nível de extensão superficial.

É necessário destacar que a aplicação do pilodyn é pontual e que a do *stress wave timer* é através de um determinado trecho. Não se deve condenar uma viga que apresente altos valores de profundidade de penetração do pino, pois pode se tratar apenas de deteriorações superficiais.

Ressalta-se a importância da utilização dos métodos de amostragem em conjunto, como, por exemplo, o *stress wave timer*, o pilodyn e o resistógrafo. Quando um elemento estrutural apresentar sinais de deterioração superficial e também baixo módulo de elasticidade, pode-se promover sua perfuração

controlada com o resistógrafo, a fim de se visualizar a resistência da seção perfurada à penetração da broca do equipamento. E, ainda, para a tomada de conclusões definitivas sobre a estrutura, a metodologia deve prever muitas repetições dos ensaios para a confirmação dos resultados.

5.2.1.3 Resistógrafo

Na Tabela 5, que apresenta o resumo da análise de variância para a variável amplitude da resistência da madeira à perfuração pela broca do aparelho, pode-se observar que as vigas diferem entre si ($P < 0,0001$), o mesmo ocorrendo com as direções de aplicação do aparelho ($P < 0,0001$). Entretanto, a interação entre viga e direção foi não-significativa. As vigas E, F e G não puderam entrar na análise de variância, uma vez que, como para cada uma delas não foi possível perfurar os três pontos nas duas direções, seus dados desbalanceariam a análise.

TABELA 5 Resumo da análise de variância para amplitude.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS	Pr>Fc
VIGA	12	432	<0,0001
DIREÇÃO	1	1010	<0,0001
VIGA * DIREÇÃO	12	27	0,4050
ERRO	52	26	
TOTAL	77		
CV		35,28	

Pelos resultados do teste de Tukey ($P < 0,05$), apresentados na Tabela 6, constata-se que as vigas N e L foram as que apresentaram as maiores médias de amplitude, juntamente com a viga O, que não diferiu estatisticamente delas. As vigas N e O, conforme visto anteriormente, são mais recentes, que sofrem menos

com umidade devido ao microclima exterior, ventilado e com radiação solar. A viga L se situa internamente, mas, na “entrada” do porão, uma área ainda bem ventilada. Estes resultados são condizentes com os resultados das médias de módulo de elasticidade dinâmico obtidos pelo *stress wave timer* (Tabela 3). Entretanto, não se deve utilizar o resistógrafo como método exclusivo de análise. É interessante analisar, antes, algumas propriedades da estrutura e, a partir de então, procurar perfurá-la em pontos críticos, para se ter uma ideia do nível, da extensão e da posição das prováveis deteriorações daquela seção.

TABELA 6 Médias de amplitudes das vigas.

VIGA	Médias amplitudes (%)	VIGA	Médias amplitudes (%)
J	5,33 a	K	13,05 ab
P	6,03 ab	D	13,23 ab
I	7,30 ab	M	15,59 bc
A	9,39 ab	O	24,73 cd
C	9,49 ab	L	28,61 d
B	10,22 ab	N	30,86 d
H	11,20 ab		

*Médias seguidas de mesma letra, no sentido de coluna, não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Ainda de acordo com os dados da Tabela 6, observa-se que a viga J foi a que apresentou menor média de amplitude; esta viga é toda encostada no muro de arrimo, ao longo de seu comprimento, o que lhe traz bastante umidade. Na Figura 25 observam-se os perfis de perfuração da viga J, de menor amplitude e os perfis das vigas L e N, de maiores amplitudes, a fim de possibilitar uma comparação entre eles.

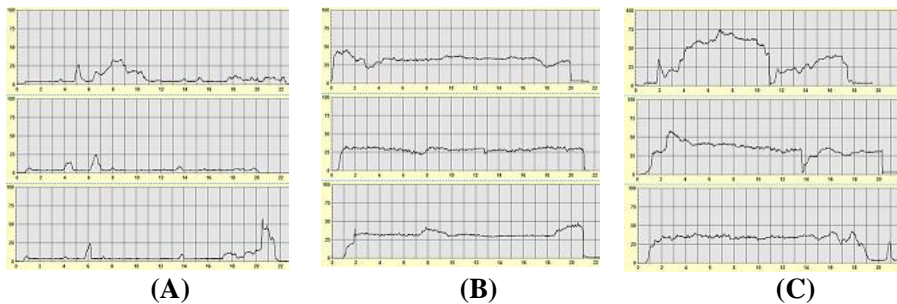


FIGURA 25 Perfis de perfuração das vigas, sendo A: viga J; B: viga L; C: viga N.

Pelos perfis de três pontos das vigas J, L e N, nota-se que as amplitudes da viga J realmente foram inferiores às amplitudes das outras vigas, comprovando os resultados da Tabela 6. Uma questão que se deve destacar é que, apesar de as médias das vigas L e N não diferirem estatisticamente, as amplitudes da viga L são bem mais constantes do que as amplitudes da viga N, ao longo de toda a profundidade da perfuração. Esse fato denota maior integridade da viga L, pelo menos nos três pontos amostrados. A viga N chega a apresentar, nos perfis dos pontos 1 e 2, reduções abruptas de resistência à perfuração, sugerindo deteriorações centrais de pequena extensão, mas de resistência quase nula. Por esse motivo, não se deve perder de vista que as médias ajudam a comparar valores entre pontos perfurados ou entre vigas, mas mascaram oscilações de amplitude.

Nesse contexto, torna-se importante apresentar os perfis da viga M que teve os dados obtidos pelo *stress wave timer* analisados qualitativamente, pelo fato de ter sido dividida em cinco pontos e não em três, como a maioria. Seus perfis trazem curiosidades e são apresentados na Figura 26.

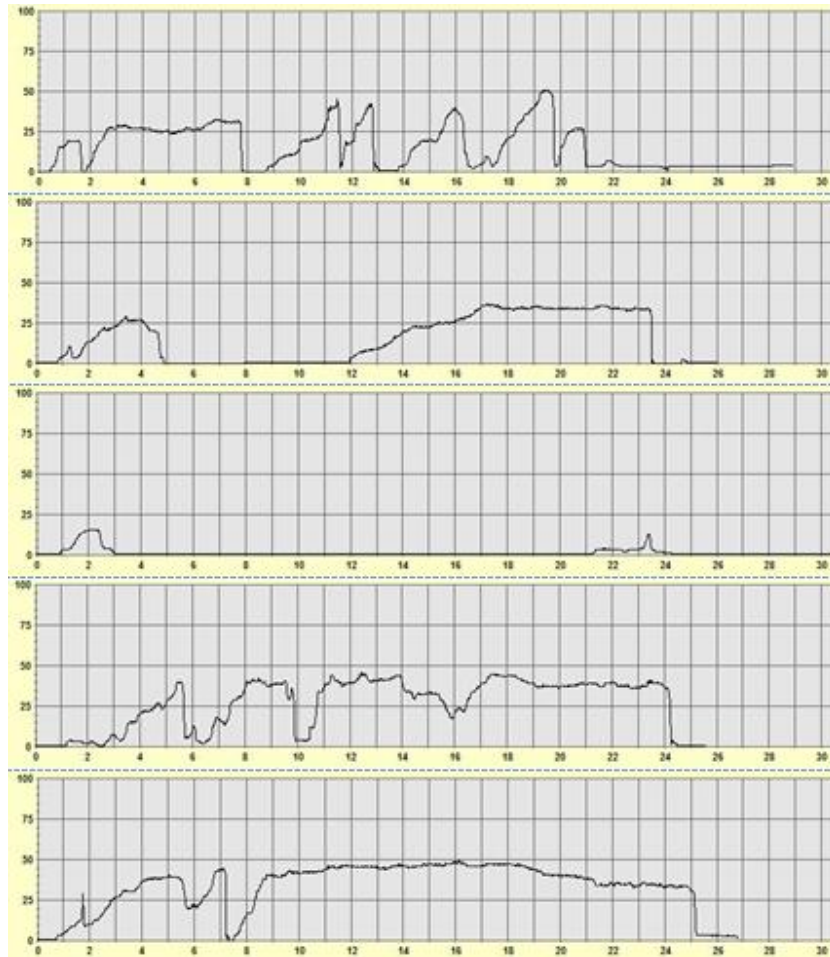


FIGURA 26 Perfis de perfuração da viga M nos pontos 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

Como se observa na Figura 26, o ponto 1 apresenta oscilações, com seis reduções de resistência da madeira à perfuração da broca, todas a uma amplitude de praticamente zero. Já o ponto 2 apresenta uma única redução, cuja deterioração é de resistência nula e de longa extensão. O ponto 3, que recebeu massa de cimento e cuja deterioração superficial havia impossibilitado o apoio dos transdutores do *stress wave timer*, praticamente não apresenta resistência à

perfuração da broca ao longo de toda a seção. O ponto 4 apresenta duas reduções bruscas de seção e o 5, uma redução. Esse fato demonstra que, apesar de apresentar a quarta maior média de amplitude entre as vigas desta edificação, segundo a Tabela 6, a viga M possui seções muito heterogêneas. Se ela tivesse sido perfurada em um maior número de seções, poderia ter sido elaborado um mapeamento mais preciso da peça. Infelizmente, essa prática sofreu um pouco de resistência por parte do proprietário, com receio de que se agravassem ainda mais as condições da viga pelo excesso de perfurações.

Os dados da Tabela 7 demonstram a diferença entre as médias das duas direções de aplicação do aparelho.

TABELA 7 Médias de amplitudes das direções

DIREÇÃO	Média amplitudes (%)
DV (vertical)	10,64 a
DH (horizontal)	17,83 b

*Médias seguidas de letras diferentes no sentido de coluna diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

5.2.1.4 Correlação entre amplitudes e densidade, velocidade e módulo de elasticidade

A fim de se correlacionar os valores de amplitude média para cada direção de aplicação do resistógrafo, tanto com os valores médios de densidade como com os valores de velocidade de propagação de ondas de tensão, emitida pelo *stress wave timer* e os valores de módulo de elasticidade, foram determinadas as médias de cada variável entre as vigas avaliadas nesta edificação. As vigas que não puderam entrar na análise de variância de amplitude (vigas E, F e G) não tiveram seus dados correlacionados. As correlações foram testadas pelo teste T (Student), conforme descrito por Ferreira (2005). Os resultados estão demonstrados na Tabela 8.

TABELA 8 Correlação entre amplitudes e as outras variáveis.

AMPLITUDE	Densidade	Velocidade	Módulo de elasticidade
DH	0,82*	0,68*	0,79*
DV	0,84*	0,56*	0,74*

*: significativo pelo teste T, a 1% de probabilidade.

Os valores diferiram muito pouco entre as direções, que diferiram entre si, de acordo com as Tabelas 5 e 7. Como o módulo de elasticidade é diretamente proporcional à densidade (d) e à velocidade de propagação da onda de tensão (v), a correlação proporcional entre as variáveis era esperada. A correlação positiva entre as variáveis e a amplitude é explicada porque quanto maior for a densidade da madeira, maior é a velocidade (e conseqüente módulo de elasticidade) e maior também é a amplitude fornecida pelo resistógrafo, ou seja, maior a resistência da madeira à perfuração pela broca do equipamento.

5.2.2 Museu Padre Toledo

No museu Padre Toledo, foram avaliados quatro pilares de sustentação da cumeeira e quatro espigões (vigas inclinadas). Na Figura 27, observa-se a representação gráfica da planta de cobertura da parte original do museu. Os resultados são descritos a seguir.

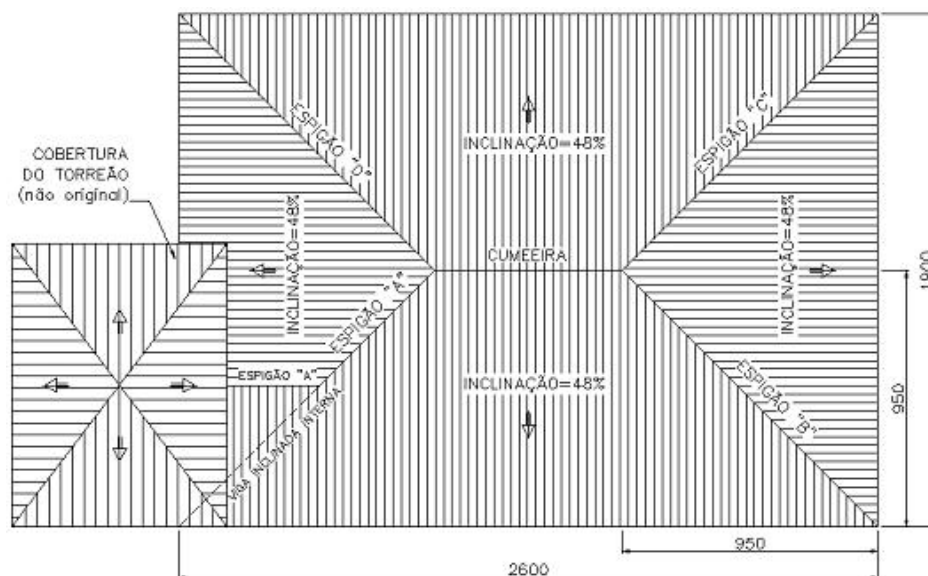


FIGURA 27 Representação gráfica do telhado do Museu Padre Toledo (sem escala).

5.2.2.1 Pilares

5.2.2.1.1 Stress wave timer

No caso dos pilares, foram retiradas amostras para estimativa de densidade de todos os pontos avaliados.

Os dados da Tabela 9 apresentam os resumos das análises de variância para as variáveis velocidade e módulo de elasticidade dinâmico. Existe pelo menos uma diferença entre os pilares, tanto para valores de velocidade ($P < 0,0025$), como para módulo ($P < 0,0032$), resultado que era esperado. Em relação a posições, a análise aponta que existe pelo menos uma diferença de velocidade ($P < 0,0146$) e módulo de elasticidade ($P < 0,0135$). Já com relação às linhas, não houve diferenças entre as mesmas, tampouco houve interação entre os três fatores considerados.

TABELA 9 Resumo da análise de variância de velocidade e módulo de elasticidade dinâmico.

FV	GL	Velocidade (m/s)		Módulo de elasticidade (kg/cm ²)	
		QM	Pr > Fc	QM	Pr > Fc
PILAR	3	1534362	0,0025	1	0,0032
LINHA	2	33525	0,8822	5064472	0,9756
POSIÇÃO	2	1270400	0,0146	997417256	0,0135
PILAR * LINHA	6	171282	0,6956	102067458	0,8060
PILAR * POSIÇÃO	6	313949	0,3399	265415654	0,2851
LINHA * POSIÇÃO	4	75759	0,8863	49360059	0,9135
PILAR * LINHA * POSIÇÃO	12	115330	0,9393	84794931	0,9485
ERRO	36	266604		205216188	
TOTAL	71				
CV		27,07%		57,45%	

Na Tabela 10 estão os resultados de aplicação do teste de Tukey, que mostra que o pilar D tem maior média de velocidade, apesar de não diferir dos pilares A e C. Com relação ao módulo de elasticidade, o pilar D foi o que apresentou, isoladamente, maior média.

TABELA 10 Médias de velocidades e módulos de elasticidade dos pilares.

PILAR	Médias velocidades (m/s)	PILAR	Médias módulos de elasticidade (kg/cm ²)
B	1592 a	B	18384 a
A	1848 ab	C	21860 a
C	1871 ab	A	22762 a
D	2303 b	D	36501 b

*Médias seguidas de mesma letra no sentido de coluna não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Pode-se supor que o pilar D, representado na Figura 28, ao fundo, receba menos infiltração, pelos problemas do escorregamento das telhas do telhado, do que os outros pilares. Outro motivo é o fato de ele apresentar uma forma mais regular ao longo de seu comprimento.



FIGURA 28 Aspecto do pilar D, ao fundo, e do pilar C, à frente, em se pode perceber a regularidade do comprimento do pilar D, comparado ao pilar C.

Ainda na Tabela 9 observa-se que as posições avaliadas, segundo a Figura 19, diferem entre si, o que indica que os pilares apresentam trechos com diferentes níveis de deterioração ao longo de sua altura. Observa-se, na Tabela 11, tanto para velocidade como para módulo de elasticidade, que a posição 3 apresentou tendência de maiores médias, ainda que estatisticamente iguais às médias da posição 1. A posição 2, que representa o centro do pilar, apresentou médias inferiores.

TABELA 11 Médias de velocidades e módulos de elasticidade das posições.

POSIÇÃO	Médias velocidades (m/s)	POSIÇÃO	Médias módulos de elasticidade (kg/cm ²)
2	1684 a	2	18393 a
1	1895 ab	1	25138 ab
3	2144 b	3	31282 b

*Médias seguidas de mesma letra no sentido de coluna não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

5.2.2.1.2 Resistógrafo

Na Tabela 12, que apresenta o resumo da análise de variância para a variável amplitude, pode-se observar que os pilares diferem entre si ($P < 0,0277$), que as direções de aplicação do aparelho também ($P < 0,0080$) e que a interação entre pilar e direção foi não-significativa.

TABELA 12 Resumo da análise de variância para amplitude.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS	Pr>Fc
PILAR	3	473	0,0277
DIREÇÃO	1	1095	0,0080
PILAR * DIREÇÃO	3	55	0,7511
ERRO	30	136	
TOTAL	37		
CV		34,36%	

Segundo os dados da Tabela 13, obtidos pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), o pilar B apresentou maior média de amplitude, estatisticamente igual às médias dos pilares A e D.

TABELA 13 Médias de amplitudes dos pilares.

PILAR	C	D	A	B
Amplitudes (%)	25,59 a	31,33 ab	39,12 ab	40,58 b

*Médias seguidas de mesma letra no sentido de linha não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

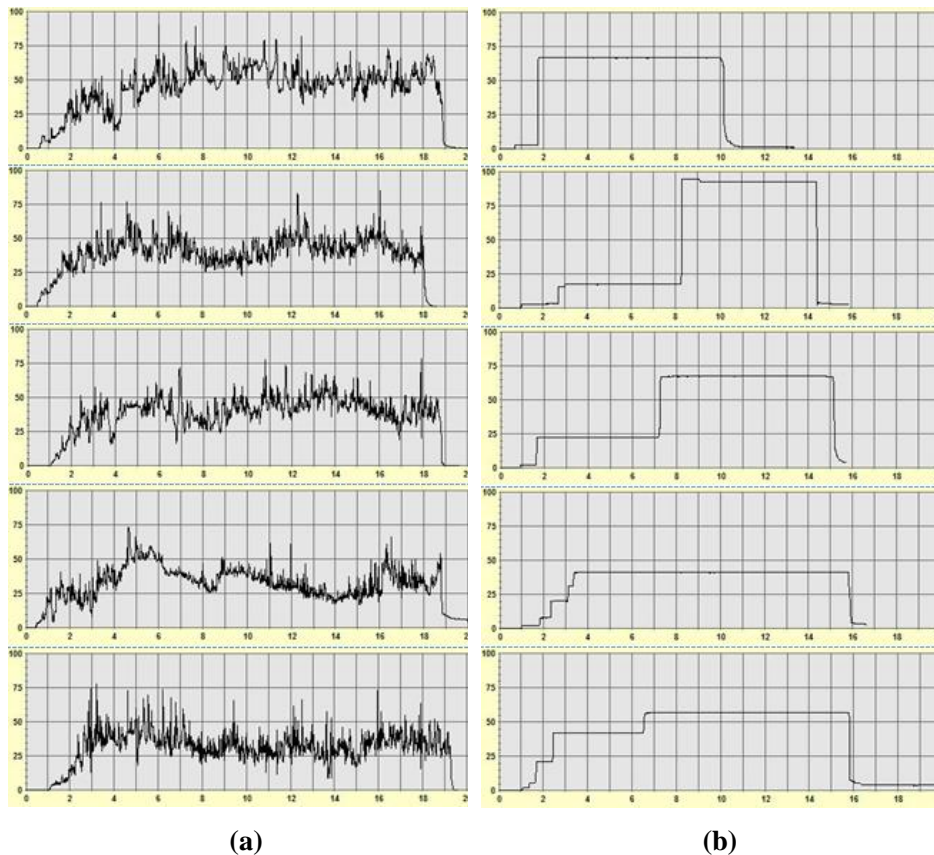
Os dados da Tabela 14 mostram a diferença entre as médias das duas direções de aplicação do aparelho.

TABELA 14 Médias de amplitudes das direções.

DIREÇÃO	Médias amplitudes (%)
DHa	28,24 a
DHb	38,99 b

*Médias seguidas de letras diferentes no sentido de coluna diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Na Figura observam-se os perfis de perfuração do pilar B, de maior amplitude entre os pilares avaliados. São apresentados seus perfis, tanto na direção DHa como na direção DHb de perfuração, uma vez que essas direções, segundo os dados das Tabelas 12 e 14, diferiram entre si. Deve-se salientar que foram utilizadas diferentes velocidades de perfuração da broca para cada direção, o que faz com que as impressões da agulha nos papéis quadriculados sejam realizadas de maneiras diferentes, porém, ambas eficientes e comparáveis.



(a) (b)
 FIGURA 29 Perfis de perfuração do pilar B, sendo a: direção DHa; b: direção DHb.

Observando-se os cinco perfis de cada direção, nota-se que as seções avaliadas no pilar B não apresentaram grandes reduções de amplitude, sugerindo a ausência de deteriorações internas. Entretanto, esses resultados não condizem com os resultados das médias obtidas pelo *stress wave timer* (Tabela 10), quando o pilar B apresentou a pior média de velocidade e tendência de menor média de módulo de elasticidade dinâmico. Não se pode perder de vista que a análise do resistógrafo é pontual, de forma que nem sempre se pode esperar que haja uma correlação positiva entre os dois métodos.

5.2.2.1.3 Correlação entre amplitudes e densidade, velocidade e módulo de elasticidade

As médias de densidade, de velocidade de propagação de ondas de tensão e de módulo de elasticidade entre os pilares avaliados foram determinadas e correlacionadas com as médias de amplitude para cada direção de aplicação do resistógrafo, conforme se observa na Tabela 15. As correlações foram testadas pelo teste T (Student), conforme descrito por Ferreira (2005).

TABELA 15 Correlação entre amplitudes e as outras variáveis.

AMPLITUDE	Densidade	Velocidade	Módulo de elasticidade
DHa	0,81**	-0,80**	-0,37*
DHb	0,85**	-0,40*	-0,07ns

** , * e ns: significativo, a 1% e a 5% de probabilidade e não-significativo, respectivamente.

Espera-se que quanto maior a densidade, maior a amplitude fornecida pelo resistógrafo, ou seja, maior a resistência oferecida pela madeira à perfuração pela broca do equipamento. Essa correlação, alta e positiva, foi alcançada pelos pilares do museu. Entretanto, os valores da correlação entre velocidade e amplitude e módulo e amplitude deveriam, a princípio, ser positivos e altos, uma vez que quanto maior a amplitude, maior a densidade da madeira e maior a velocidade de propagação de ondas de tensão e o consequente módulo de elasticidade. Não se pode perder de vista que uma estrutura “mal classificada” pelo *stress wave timer* pode ser “bem colocada” pelo resistógrafo, como aconteceu com o pilar B, nesse caso. O contrário também poderia acontecer. Esse fato demonstra que não se deve utilizar nem o *stress wave timer* e nem o resistógrafo como métodos exclusivos de análise, uma vez que nem sempre há uma correlação positiva entre os dois métodos.

5.2.2.2 Espigões (vigas inclinadas)

Os espigões A, B, C e D foram avaliados somente na linha neutra e na direção DH (Figura 18), devido à dificuldade de acesso a trechos dos espigões e de manuseio dos aparelhos. É importante ressaltar que, por se tratar de um telhado de construção histórica, não havia lajes maciças que permitissem o livre trânsito por ele. Uma trama de vigas de madeira, com forros em tábuas ou em esteira, separa a estrutura do telhado do térreo do museu. Os inspetores deveriam se equilibrar sobre essas vigas e, nem sempre, elas davam acesso a um trecho desejado do espigão. Quando o acesso era possível, ainda poderia haver dificuldade de manuseio dos aparelhos. Além disso, nas partes dos espigões mais próximos aos forros, a presença de excrementos de pombos e ratos dificultava o trabalho. De acordo com as normas de segurança do trabalho (NR-6), foram utilizados equipamentos de proteção individual, como cadeira de segurança, cordas, cinto de paraquedista e máscara, como pode ser visto na Figura 30.

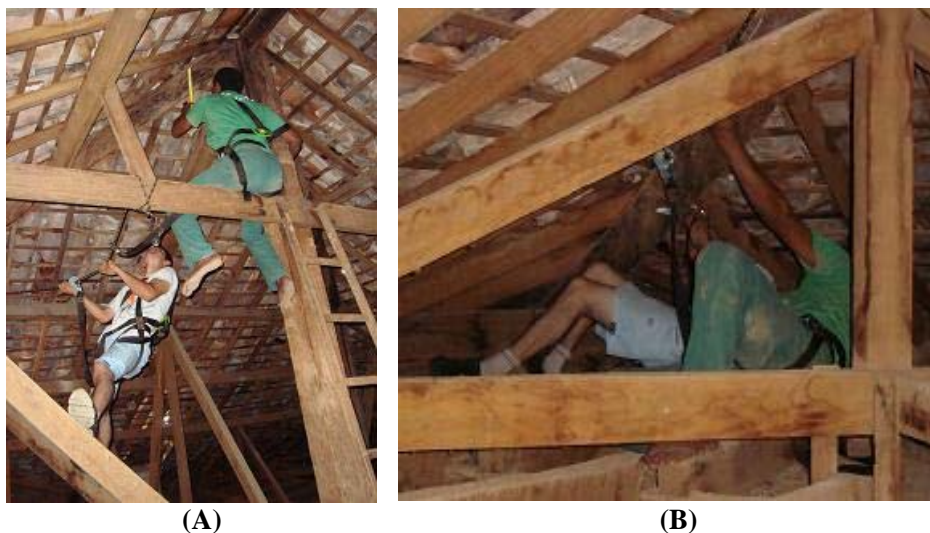


FIGURA 30 Dificuldades dos inspetores para avaliar um espigão, sendo A: inspeção no alto do espigão; B: inspeção próxima à base do espigão.

5.2.2.2.1 *Stress wave timer*

Todos os espigões foram divididos em nove pontos, mas somente o espigão A foi avaliado em todos os trechos, devido à possibilidade de acesso a eles. O espigão B foi avaliado em 7 pontos e os espigões C e D, em 5 pontos.

Uma análise gráfica do espigão A pode ser visualizada na Figura 31. O trecho 7 a 8, próximo à cumeeira, apresentou a menor média de módulo de elasticidade dinâmico, provavelmente pelo fato de ter sido bastante solicitado ao longo de sua vida útil ou por ser mais prejudicado pela umidade proveniente do escorregamento de telhas. Os trechos de 2 a 3 e de 1 a 2, mais próximos ao forro e ao beiral, apresentaram maiores valores de módulos, enquanto, nos demais trechos, os valores foram semelhantes. Na planta do telhado (Figura 27), pode-se observar que, no trecho mais próximo ao beiral, a viga inclinada interna A deixa de receber os esforços que receberia, caso o espigão não tivesse mudado de direção. Sendo assim, justificam-se os maiores valores de módulo de elasticidade dos dois trechos inferiores, que são menos solicitados que os outros trechos do espigão.

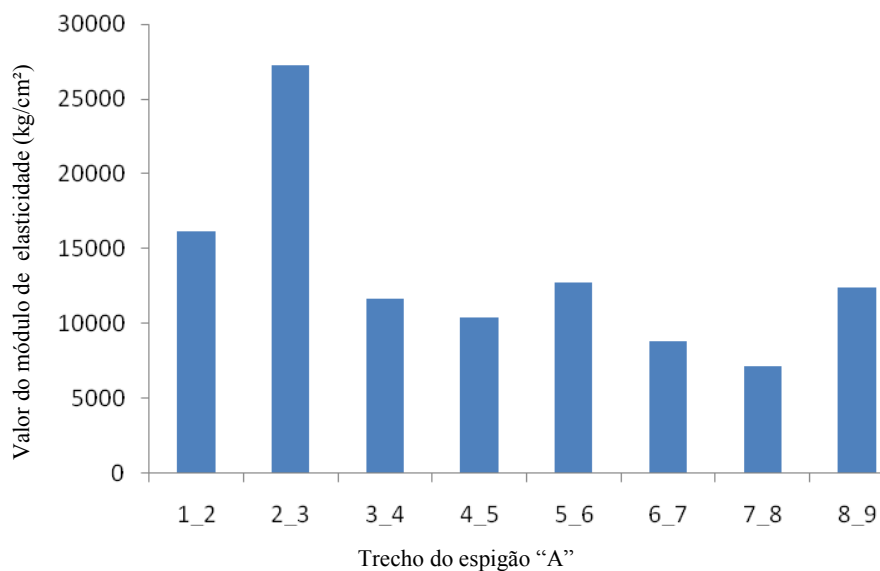


FIGURA 31 Valores de módulo de elasticidade de todos os trechos do espigão A.

A média dos módulos de elasticidade dos trechos de 1 a 2, de 2 a 3, de 3 a 4 e de 4 a 5 de cada espigão foi representada graficamente. Esses foram os únicos trechos que puderam ser avaliados nos quatro espigões. O resultado pode ser visto na Figura 32. O espigão A apresentou média de módulos maior que os outros.

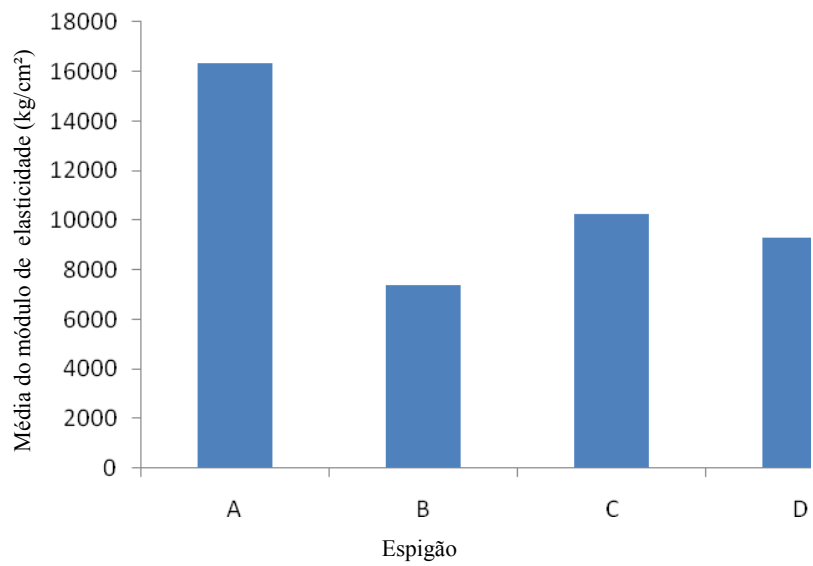


FIGURA 32 Média dos módulos de elasticidade dos espigões A, B, C e D.

5.2.2.2.2 Resistógrafo

Um estudo gráfico, feito com as amplitudes médias obtidas em cada espigão, a fim de compará-los, pode ser observado na Figura 33.

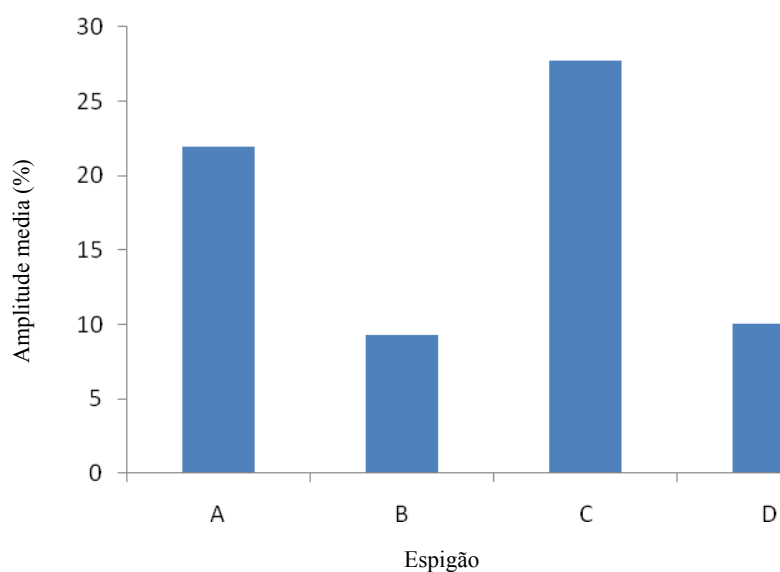
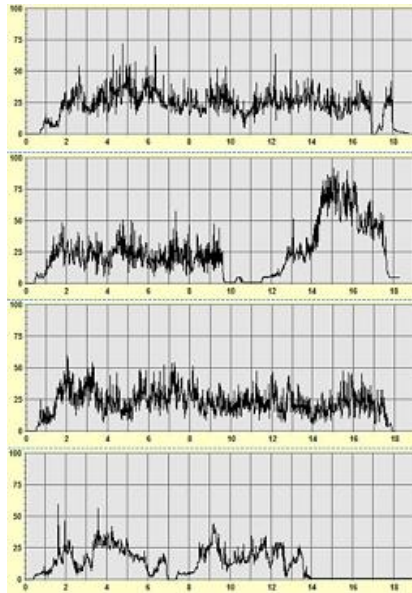


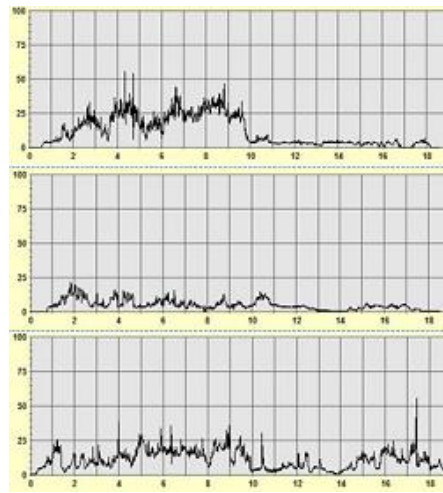
FIGURA 33 Amplitudes médias dos espigões “A”, “B”, “C” e “D”.

O espigão C apresentou média de amplitudes maior, seguido pelo espigão A. Os espigões B e D tiveram médias menores e com valores semelhantes. O espigão A teve amplitude média um pouco menor que a do espigão C. Não se pode afirmar que esses valores não diferem entre si, pois uma análise de variância não foi possível, uma vez que o resistógrafo somente foi aplicado em uma direção dos espigões, devido à impossibilidade de acesso à outra face. Entretanto, não se deve perder de vista que o resistógrafo avalia perfis em seções pontuais.

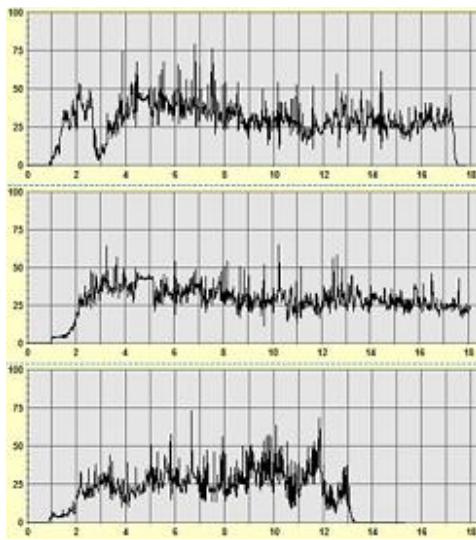
Os perfis de perfuração dos espigões avaliados, a fim de complementar a Figura 33, são apresentados na Figura 34.



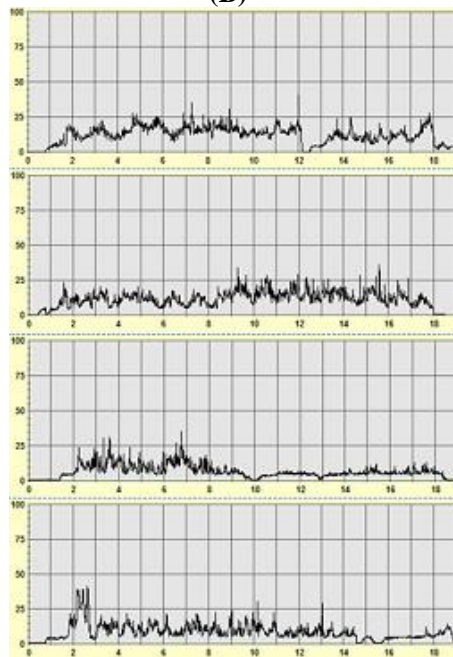
(A)



(B)



(C)



(D)

FIGURA 34 Perfis de perfuração dos espigões, sendo A: espigão A; B: espigão B; C: espigão C; D: espigão D.

5.2.2.2.3 Correlação entre amplitudes e densidade, velocidade e módulo de elasticidade

Os resultados da correlação podem ser observados na Tabela 16.

TABELA 16 Correlação entre amplitudes e as outras variáveis.

AMPLITUDE	Densidade	Velocidade	Módulo de elasticidade
DH	0,92*	0,48*	0,68*

*: significativo pelo teste T a 1% de probabilidade.

A correlação positiva entre as variáveis e a amplitude é explicada porque quanto maior for a densidade (d) da madeira, maior será a velocidade (v) e maior o módulo de elasticidade. Ainda, quanto maior for a densidade da madeira, maior será a amplitude fornecida pelo resistógrafo, ou seja, maior a resistência da madeira à perfuração pela broca do equipamento.

5.2.3 Sobrado dos Quatro Cantos

Na Figura 35 está representada graficamente a planta dos porões do sobrado, com as 11 vigas estudadas em destaque.

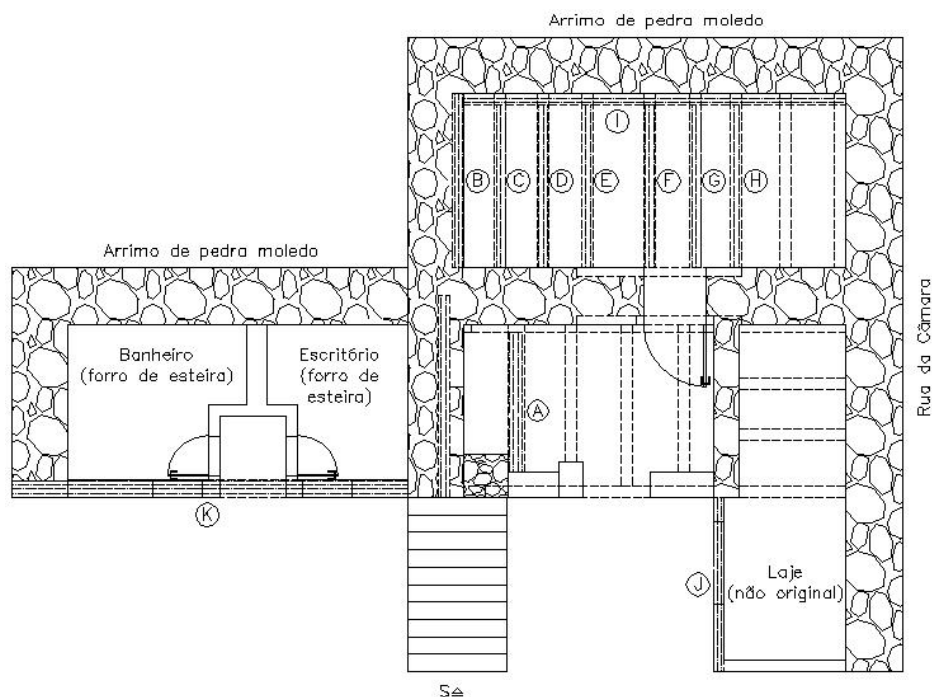


FIGURA 35 Representação gráfica da planta dos porões do Sobrado dos Quatro Cantos, com destaque para as vigas avaliadas (sem escala).

Nas avaliações *in loco*, foram utilizados os equipamentos *stress wave timer*, o pilodyn e o resistógrafo, além de um formão, para a retirada de uma amostra de cada viga e a consequente determinação da densidade média da viga. Os resultados são descritos a seguir.

5.2.3.1 *Stress wave timer*

A princípio, será discutida a análise de variância das vigas A, B, C, D, E e J e, em seguida, os dados das vigas F, G, H, I e K, que foram avaliadas qualitativamente, uma vez que não foi possível entrar com seus dados na análise de variância. Isso ocorreu devido ao fato de as três primeiras vigas não poderem ser avaliadas nas três linhas, mas apenas na linha neutra, e às duas últimas serem mais compridas e não terem sido divididas em três pontos, como as outras.

Os dados da Tabela 17 representam os resumos das análises de variância para as variáveis velocidade e módulo de elasticidade dinâmico. Os resultados do teste F indicam diferenças significativas entre as vigas, independentemente das linhas, tanto para valores de velocidade ($P < 0,0046$) como para módulo ($P < 0,0113$), o que era esperado, já que, em uma avaliação subjetiva, as vigas apresentam particularidades em seu estado de conservação.

TABELA 17 Resumo da análise de variância de velocidade e módulo de elasticidade dinâmico.

FV	GL	Velocidade (m/s)		Módulo de elasticidade (kg/cm ²)	
		QM	Pr > Fc	QM	Pr > Fc
VIGA	5	564861	0,0046	35483559	0,0113
LINHA	2	49111	0,6523	4971186	0,5709
VIGA *	10	127124	0,3920	9463318	0,4115
LINHA					
ERRO	18	112229		8594985	
TOTAL	35				
CV		36,74%		55,96%	

Ainda na Tabela 17, observa-se que não houve diferença significativa entre as linhas de aplicação do *stress wave timer*, tanto para velocidade, como para módulo de elasticidade. Esse é um bom resultado, pois, muitas vezes, existe algum impedimento para acesso a uma determinada linha ou a um ponto daquela linha. Sendo assim, pode-se usar o equipamento em outra linha.

Tampouco houve diferença na interação viga x linha, tanto para velocidade como para módulo de elasticidade.

As vigas C, E, D e B são as que apresentaram maiores médias para velocidade (Tabela 18). Para módulo, as mesmas vigas, juntamente com a viga A, apresentaram maiores médias. As vigas que apresentaram tendência de

menores médias foram a J e a A, para velocidade, e a J, para módulo, apesar de não diferirem estatisticamente de B, D e E. A viga J, devido à posição em que se encontra, no exterior, conformando a laje da cozinha não original à casa, recebia infiltração pela tubulação hidráulica da parede nela apoiada. O problema já foi corrigido, segundo relatos dos trabalhadores do local.

TABELA 18 Médias de velocidades e módulos de elasticidade das vigas.

VIGA	Médias velocidades (m/s)	VIGA	Médias módulos de elasticidade (kg/cm ²)
J	589 a	J	2367 a
A	597 a	A	3023 ab
B	745 ab	B	4127 ab
D	1091 ab	D	6072 ab
E	1150 ab	E	7716 ab
C	1300 b	C	8128 b

*Médias seguidas de mesma letra no sentido de coluna não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Conforme dito anteriormente, as vigas F, G, H, I e K foram avaliadas qualitativamente, pois não foi possível entrar com seus dados na análise de variância.

As médias dos módulos de elasticidade de todos os trechos avaliados, na linha neutra, para cada viga do Sobrado dos Quatro Cantos, estão apresentadas na Figura 36.

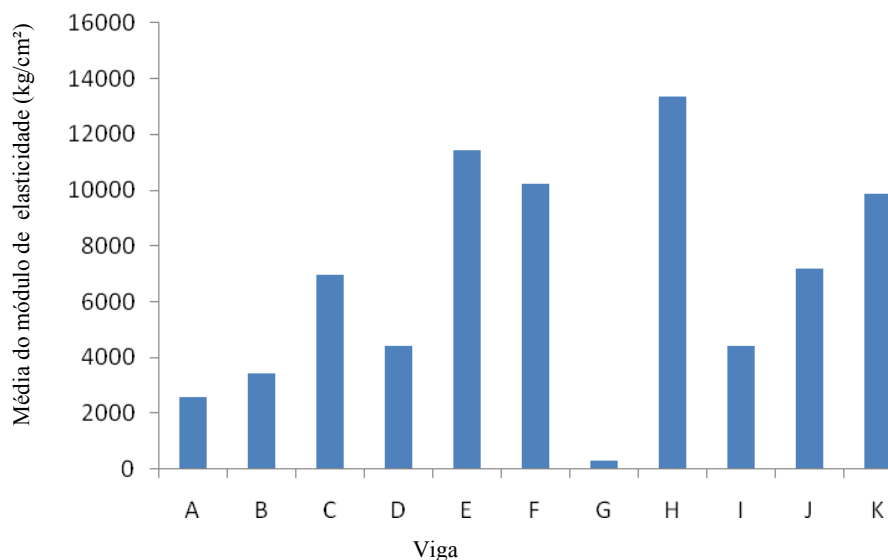


FIGURA 36 Médias de módulo de elasticidade para cada viga do Sobrado dos Quatro Cantos.

Graficamente, as vigas F, H e K, avaliadas apenas qualitativamente, apresentaram médias de módulo de elasticidade semelhantes, juntamente com a média da viga E, que entrou na análise de variância. Conforme observado na Tabela 18, as vigas A, B, C, D e E não diferem estatisticamente para a variável módulo de elasticidade, o que permite afirmar que elas, juntamente com as vigas F, H e K, apresentaram módulos com relação de igualdade entre si. Todas essas vigas, com exceção da viga K, pertencem a um microclima interno constantemente úmido, principalmente devido à falta de insolação e ventilação, aos muros de arrimo de moledo e ao piso de terra batida.

O resultado surpreendente foi a média de módulo de elasticidade da viga G: 283,74 kg/cm², obtida nos trechos de 1 a 2 (241,31 kg/cm²), de 2 a 3 (232,67 kg/cm²) e de 1 a 3 (377,24 kg/cm²). Comparada com as médias das outras vigas, de cerca de 2.500 kg/cm² a 13.000 kg/cm², é um valor muito baixo.

A viga I, além de pertencer a um microclima interno úmido, é encostada no arrimo dos fundos do porão e, por isso, está sujeita a receber mais umidade. Ela foi dividida em 7 pontos e seus trechos avaliados foram: de 1 a 2, de 2 a 3, de 2 a 6, de 2 a 7, de 4 a 5, de 4 a 6, de 4 a 7, de 5 a 6 e de 6 a 7. Alguns trechos não foram avaliados, devido à limitação do comprimento dos cabos dos transdutores até o aparelho. Para possibilitar uma análise gráfica dos valores de módulo de elasticidade ao longo do comprimento da viga, foram utilizados os valores dos trechos de 1 a 2, de 2 a 6 e de 6 a 7, resultando no gráfico da Figura 37.

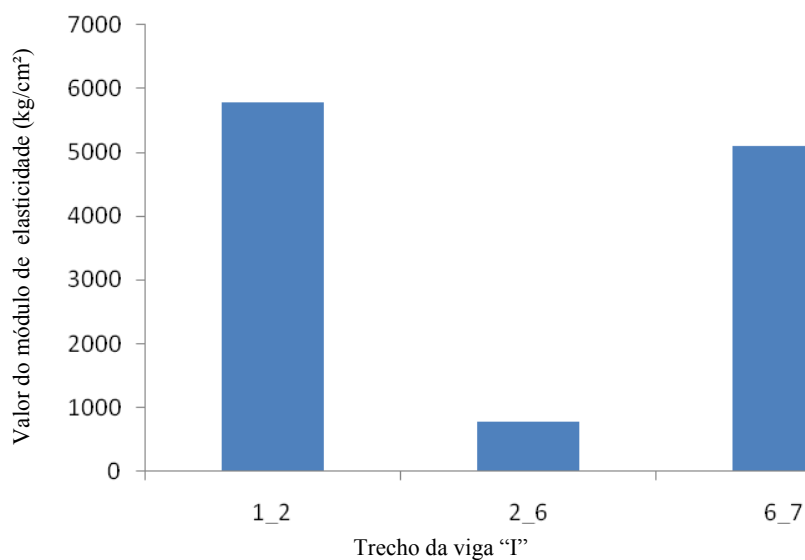


FIGURA 37 Valores de módulo de elasticidade de trechos que somam todo o comprimento da viga I.

Os trechos dos extremos apresentaram valores de módulos maiores e semelhantes, enquanto o trecho de 2 a 6 apresentou valor bem menor. Na Figura 38, podem ser observados aspectos da viga I.



(A)

(B)

FIGURA 38 Aspecto da viga I, sendo A: apoiando as vigas C e D; B: apoiada em um complemento em tijolos do muro de moledo.

A viga K foi dividida em 5 pontos e seus trechos avaliados foram: de 1 a 2, de 1 a 3, de 1 a 4, de 1 a 5, de 2 a 3, de 2 a 4, de 2 a 5, de 3 a 4, de 3 a 5 e de 4 a 5. De ponto a ponto, foi realizada uma análise gráfica, como pode ser observado na Figura 39. Os trechos de 3 a 4 e de 4 a 5 apresentaram valores de módulos um pouco maiores e semelhantes, enquanto o trecho de 2 a 3 apresentou valor intermediário e o trecho de 1 a 2, menor valor. Pode-se supor que essa menor média do trecho de 1 a 2 se justifica pela existência de plantas trepadeiras nesse trecho, o que favorece o acúmulo de água.

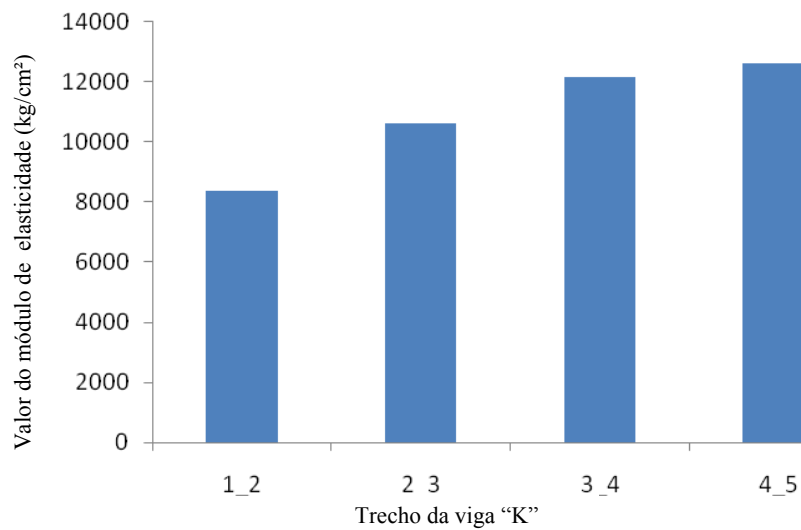


FIGURA 39 Valores de módulo de elasticidade dos quatro trechos que ligam os cinco pontos da viga K.

5.2.3.2 Pilodyn

Os dados da Tabela 19 apresentam os valores da profundidade de penetração do pino, em milímetros, para todos os pontos perfurados das onze vigas avaliadas no Sobrado dos Quatro Cantos. É importante ressaltar que quanto maior o valor de penetração do pino, maior pode ser a deterioração superficial da madeira.

TABELA 19 Valores (mm) da profundidade de penetração do pino do Pilodyn.

PONTO	VIGA										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	31	31	30	31	34	28	35	30	33	32	30
2	32	32	29	30	34	29	34	31	34	30	32
3	26	29	24	31	20	28	33	31	32	33	33
4	-	-	-	-	-	29	-	-	-	-	20
5	-	-	-	-	-	26	-	-	-	-	34
6	-	-	-	-	-	29	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	28	-	-	-	-	-
MÉDIA	29,7	30,7	27,7	30,7	29,3	28,1	34	30,7	33,0	31,7	29,8

Observa-se que as maiores médias foram apresentadas pelas vigas G e I, seguidas pela viga J. Comparando-se com as análises realizadas com os dados obtidos pelo *stress wave timer*, a viga G apresentou valor baixo de módulo de elasticidade, o menor entre todas as vigas. Com relação aos dados obtidos pelo resistógrafo, essa mesma viga apresentou baixíssima resistência à perfuração da broca do equipamento. Esses resultados, em conjunto, confirmam a deterioração da viga.

A viga I está encostada no arrimo úmido do porão e, devido a esse contato, apresenta deteriorações superficiais ao longo de seu comprimento. A viga J, que recebia infiltrações e está exposta a intempéries, também apresentou elevada deterioração superficial.

5.2.3.3 Resistógrafo

Na Tabela 20, que apresenta o resumo da análise de variância para a variável amplitude, pode-se observar que as vigas diferem entre si ($P < 0,0001$) e que não houve diferenças significativas entre as direções de aplicação do

aparelho. A viga B não entrou nessa análise, uma vez que não foi possível perfurá-la na Direção DV, pelo fato de ela estar apoiada em uma parede.

TABELA 20 Resumo da análise de variância para amplitude.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS	Pr>Fc
VIGA	9	2130,07	0,0000
DIREÇÃO	1	16,73	0,6106
ERRO	45	63,62	
TOTAL	55		
CV		31,09%	

*, ns: significativo, a 5% de probabilidade e não-significativo, respectivamente.

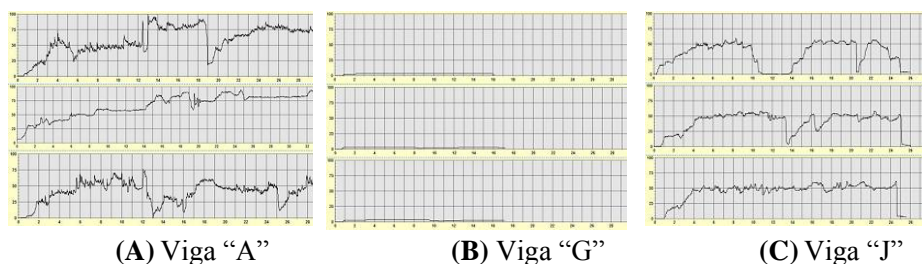
Pelos resultados do teste de Tukey ($P < 0,05$), apresentados na Tabela 21, a viga A apresentou maior média de amplitude, estatisticamente igual às médias das vigas F e K. A viga G apresentou tendência de menor amplitude, ainda que estatisticamente igual às vigas I, D, C e H.

TABELA 21 Médias de amplitudes das vigas.

VIGA	Média amplitudes (%)	VIGA	Média amplitudes (%)
G	2,58 a	E	23,30 bc
I	6,28 a	J	36,44 cd
D	7,12 ab	K	42,84 de
C	11,21 ab	F	47,77 de
H	17,80 ab	A	58,38 e

Na Figura 40 observam-se os perfis de perfuração da viga A, de maior amplitude; da viga G, de menor amplitude e da viga J, de amplitude

intermediária. Apesar de a média das amplitudes da viga J ter alcançado a quarta posição entre as vigas, seus perfis de perfuração são apresentados pelo fato de ela ter apresentado tendência de menor média para módulo de elasticidade, na análise de variância dos dados obtidos pelo *stress wave timer* (Tabela 18).



(A) Viga “A” (B) Viga “G” (C) Viga “J”
FIGURA 40 Perfis de perfuração das vigas, sendo A: viga A; B: viga G; C: viga J.

Analisando-se os perfis dos três pontos das vigas A e G, observa-se que as amplitudes da viga A realmente foram superiores, comprovando os resultados da Tabela 21. A viga A está localizada em um microclima interno, mas próxima da entrada do porão, o que lhe proporciona mais ventilação. A viga G, avaliada qualitativamente pelo *stress wave timer*, e que tinha apresentado a menor média de módulo de elasticidade entre todas as vigas (Figura 36), também apresentou a menor média de amplitude entre as vigas. Nesse caso, os resultados do resistógrafo, aliados aos resultados do *stress wave timer*, confirmam a extensa e alta deterioração da viga G.

A viga J é externa, em contato com água na forma líquida. Seu ponto 1 apresenta uma redução gradual e central de resistência, com sugestão de deterioração de cerca de 3 cm e resistência nula e outra redução, menos extensa. Já o ponto 2 apresenta uma única redução, cuja deterioração é de baixa resistência e de pequena extensão. O ponto 3 não apresenta redução de resistência, além de oscilações devido à variabilidade natural da madeira. Apesar

das reduções pontuais de resistência à perfuração pela broca do resistógrafo, a viga J não é uma viga com amplitudes baixíssimas, como a viga G.

5.2.3.4 Correlação entre amplitudes e densidade, velocidade e módulo de elasticidade

A fim de se correlacionar os valores de amplitude média de cada direção de aplicação do resistógrafo, tanto com os valores médios de densidade como com os valores de velocidade de propagação de ondas de tensão e os valores de módulo de elasticidade, foram obtidas as médias de cada variável entre as vigas avaliadas nesta edificação. A viga B, que não entrou na análise de variância de amplitude, não teve seus dados correlacionados. A viga G, que não pode ser perfurada em nenhum ponto da Direção 1 e a viga I, que não pode ser perfurada na Direção 2, também não foram correlacionadas. As correlações foram testadas pelo teste T (Student), conforme descrito por Ferreira (2005). Os resultados podem ser observados na Tabela 22.

TABELA 22 Correlação entre amplitudes e as outras variáveis.

AMPLITUDE	Densidade	Velocidade	Módulo de elasticidade
DH (horizontal)	0,88*	-0,36ns	-0,11ns
DV (vertical)	0,74*	0,13 ns	0,17ns

* e ns: significativo, a 1% de probabilidade e não-significativo, respectivamente.

Sabe-se que quanto maior é a densidade da madeira, maior deve ser a velocidade de propagação das ondas de tensão através dela e, conseqüentemente, maior deve ser o módulo de elasticidade do trecho. Ainda com relação à densidade, quanto maior ela for, maior será a amplitude fornecida pelo

resistógrafo, ou seja, maior a resistência oferecida pela madeira à perfuração pela broca do equipamento. Entretanto, apesar de a correlação entre densidade e amplitude ter sido alta e positiva, as correlações entre velocidade e amplitude e módulo de elasticidade e amplitude foram não-significativas. Pode-se supor que deteriorações pontuais tenham superestimado os tempos, subestimando, conseqüentemente, as velocidades de propagação das ondas. Pode-se concluir, assim, que não se deve utilizar nem o *stress wave timer*, nem o resistógrafo como métodos exclusivos de análise, uma vez que nenhum dos dois, isoladamente, oferece resultados conclusivos sobre o estado de deterioração de uma estrutura.

5.2.4 Sobrado Ramalho

No Sobrado Ramalho, foram avaliados um pilar, aparentemente sem biodeteriorações, e uma viga, sem biodeteriorações, mas com trincas claramente visíveis na linha de tração da flexão. A representação gráfica da planta dos ambientes onde se encontram essas estruturas pode ser vista na Figura 41.

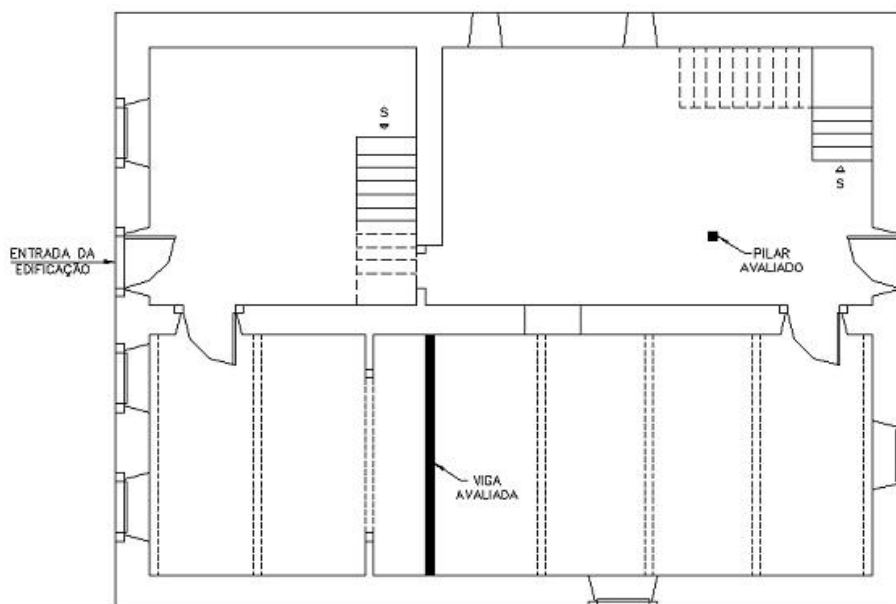


FIGURA 41 Representação dos ambientes do Sobrado Ramalho, com destaque para o pilar e a viga avaliados (sem escala).

5.2.4.1 Pilar

Os resultados das avaliações do pilar são descritos a seguir.

5.2.4.1.1 *Stress wave timer*

O pilar foi dividido em 5 pontos e foram avaliados 10 trechos: de 1 a 2; de 1 a 3, de 1 a 4, de 1 a 5, de 2 a 3, de 2 a 4, de 2 a 5, de 3 a 4, de 3 a 5 e de 4 a 5. Para possibilitar uma comparação entre as linhas de aplicação do aparelho, foi calculada a média dos módulos de elasticidade dos 10 trechos analisados em cada linha. As médias demonstram que não houve grande variação entre as linhas: linha neutra (10.676,59 kg/cm²), linha de compressão (10.159,07 kg/cm²) e linha de tração (10.288,08 kg/cm²). Pode-se supor que, pelo fato de o pilar, aparentemente, apresentar-se bastante íntegro, sem deteriorações, e pelo fato de ter seção praticamente quadrada, os esforços que atuam sobre ele sejam

distribuídos de maneira uniforme ao longo de seu comprimento, fazendo com que a média dos módulos de elasticidade seja semelhante nas diferentes linhas.

Para se comparar as posições avaliadas, segundo a Figura 19, foram calculadas as médias dos módulos de elasticidade obtidos nas três linhas, segundo suas posições ao longo do pilar. As posições 1 e 3 apresentaram tendência de maiores médias (13.052,12 kg/cm² e 11.515,89 kg/cm², respectivamente) e a posição 2, que representa somente o centro do pilar, apresentou média inferior (9.665,37 kg/cm²). Na Figura 42 esse resultado está representado graficamente.

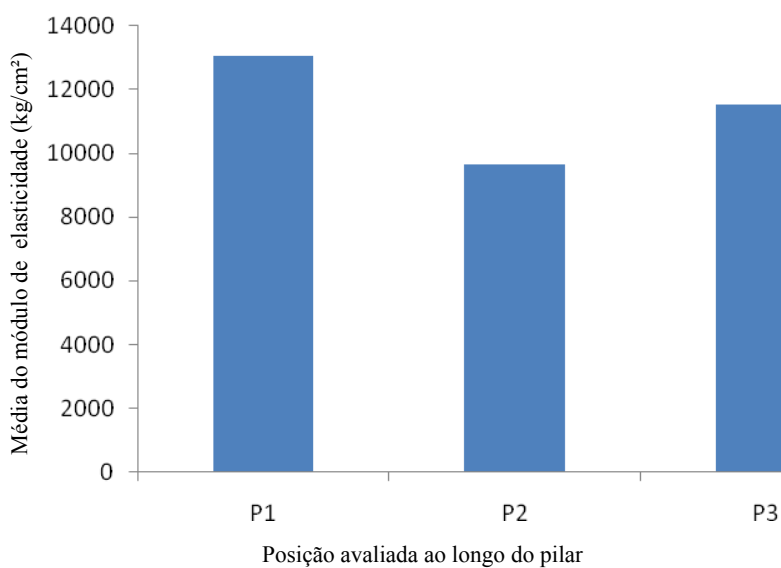


FIGURA 42 Médias de módulo de elasticidade obtidas entre todas as linhas, para P1, P2 e P3, do pilar do Sobrado Ramalho.

5.2.4.1.2 Resistógrafo

Na Tabela 23, que apresenta o resumo da análise de variância para a variável amplitude, pode-se observar que as direções de aplicação do aparelho não diferem entre si ($P < 0,3422$). Conforme afirmado anteriormente, pode-se supor que, devido à integridade aparente do pilar e às suas seções praticamente quadradas, os esforços que atuam sobre ele sejam distribuídos de maneira uniforme, não se diferenciando os perfis das seções nas direções 1 e 2.

TABELA 23 Resumo da análise de variância para amplitude.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS	Pr>Fc
DIREÇÃO	1	111,82	0,3422
ERRO	8	109,67	
TOTAL	9		
CV		31,96%	

5.2.4.2 Viga

Os resultados das avaliações da viga são descritos a seguir.

5.2.4.2.1 *Stress wave timer*

A viga foi dividida em 7 pontos e 15 trechos tiveram seus módulos de elasticidade dinâmicos calculados. O equipamento não pôde ser aplicado na linha neutra, pois havia um trilho de iluminação ao longo do comprimento da viga, localizado na região central de sua altura.

É importante ressaltar que essa viga apresenta trincas intermediário-centrais na linha de tração, destacadas na Figura 43, enfatizando-se, assim, a importância de se estudar as linhas separadamente.



FIGURA 43 Aspectos das rupturas da viga do Sobrado Ramalho.

As médias obtidas entre os valores de todos os trechos avaliados por linha mostram que as linhas de compressão e de tração não apresentaram módulos muito discrepantes entre si ($12.745,59 \text{ kg/cm}^2$ e $13.262,70 \text{ kg/cm}^2$, respectivamente); a linha de tração, apesar das trincas, apresentou média ainda maior que a da linha de compressão. Pode-se supor que a linha de compressão esteja sendo mais solicitada devido à redução de seção, em função das trincas, na linha de tração, ou que esse resultado, por ser proveniente de médias de módulos de elasticidade ao longo do comprimento, mascare o resultado da zona central da viga.

Para possibilitar uma análise gráfica de todos os trechos da viga, foram utilizados os valores de módulo de elasticidade dos trechos de 1 a 2, de 2 a 3, de

3 a 4, de 4 a 5, de 5 a 6 e de 6 a 7, para as duas linhas. Os resultados são apresentados nas Figuras 44 e 45.

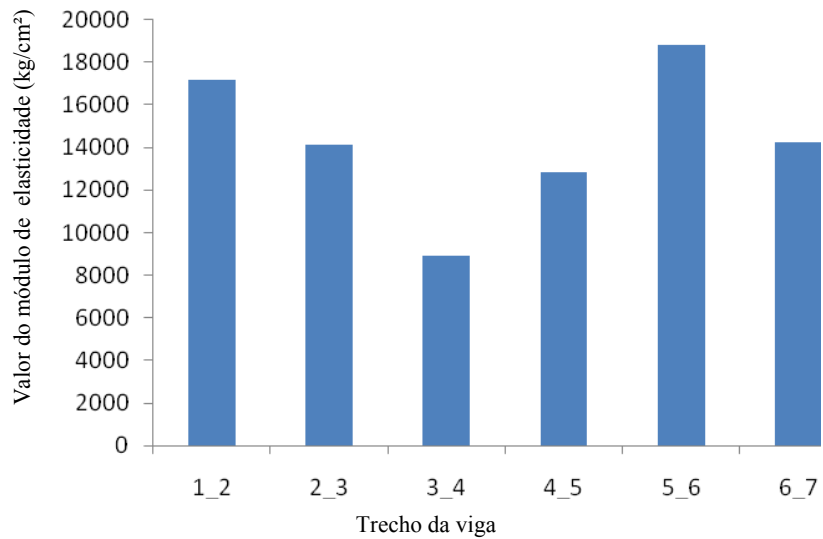


FIGURA 44 Valores de módulo de elasticidade em trechos ao longo da viga, na linha de compressão.

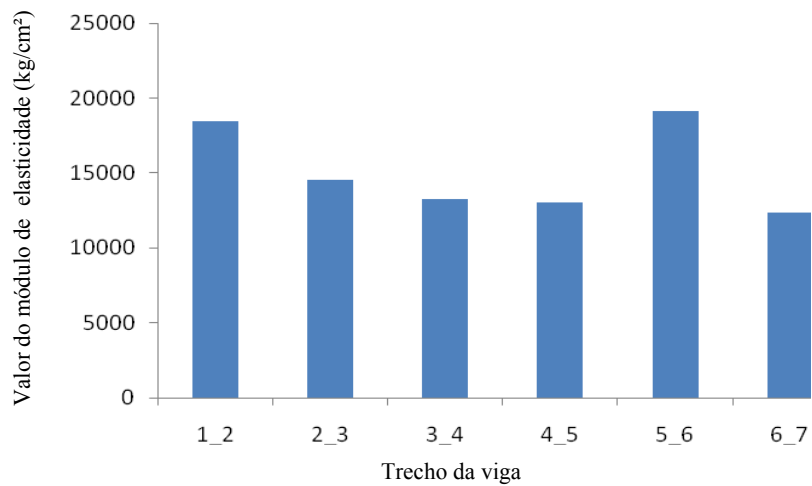


FIGURA 45 Valores de módulo de elasticidade em trechos ao longo da viga, na linha de tração.

Tanto na linha de compressão como na linha de tração os dois trechos dos extremos apresentaram valores de módulos maiores e semelhantes, enquanto os dois trechos centrais apresentaram menores valores. Ainda segundo os dados das Figuras 44 e 45, observa-se que, ao longo da linha de compressão, os valores de módulos de elasticidade nos trechos centrais variaram mais entre si, mas, na linha de tração, não ocorreu variação. Pode-se supor que as trincas na linha de tração estejam prejudicando a elasticidade da zona central na linha de compressão, que deve ter ficado sobrecarregada.

O ambiente onde se encontra a viga avaliada possui outras vigas que ajudam a suportar as cargas do piso superior, porém, somente ela é original. Além disso, nenhuma delas recebe a carga de uma parede, como é o caso da viga em questão. Supõe-se que, por esse motivo, ainda que seja robusta e visivelmente densa, a viga tenha sofrido as trincas.

5.2.4.2.2 Resistógrafo

Na Tabela 24, na qual se apresenta o resumo da análise de variância para a variável amplitude, observa-se que as direções de aplicação do aparelho diferem entre si ($P < 0,0353$).

TABELA 24 Resumo da análise de variância para amplitude.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS	Pr > Fc
DIREÇÃO	1	935	0,0353
ERRO	11	163	
TOTAL	12		
CV		33,82%	

Pelos resultados do teste de Tukey ($P < 0,05$), apresentados na Tabela 25, é demonstrada a diferença entre as médias das duas direções.

TABELA 25 Médias de amplitudes das direções.

DIREÇÃO	Média amplitudes (%)
DH (horizontal)	28,55 a
DV (vertical)	45,56 b

Na direção horizontal (DH) de aplicação do resistógrafo, de acordo com a Figura 18, foram perfurados os pontos da viga por meio da linha de tração, uma vez que a linha neutra estava inacessível pelo trilho de iluminação. Na direção vertical (DV), foram perfurados os pontos no sentido perpendicular ao anterior, ou seja, por meio dos planos de tração, neutro e de compressão. O teste de Tukey mostra que a média de amplitudes na DV foi maior que na DH. Esse fato demonstra que a broca, quando passou pelos três planos (DV), encontrou mais resistência do que quando passou apenas pela linha de tração (DH). Essa diferença de resistência se deve ao fato de a broca, na DV, também atravessar a linha que está sofrendo os esforços de compressão e cuja densidade pode ter sido aumentada com as trincas, dificultando a penetração da broca. Por outro lado, quando a broca perfura na DH, encontra somente a madeira tracionada, de densidade diminuída, que “abre caminho”, facilitando a penetração da broca.

5.2.5 Resumo dos resultados da avaliação da deterioração das estruturas de cada edificação

O Casarão dos Moura apresentou altas correlações entre os resultados obtidos pelos três equipamentos utilizados. Com o *stress wave timer*, verificou-se que as vigas N, O e P, que são vigas externas e mais recentes, e as vigas H e L, que são vigas internas mais ventiladas e com menores possibilidades de permanecerem úmidas, apresentaram maiores médias de módulo de elasticidade dinâmico. Ficaram sugeridos, assim, menores níveis de deterioração dessas vigas. Além disso, para cálculo dos módulos das vigas da edificação, não houve

diferença significativa para aplicação do aparelho nas linhas de compressão, neutra ou de tração. Com o uso do resistógrafo, comprovou-se que as vigas N, L e O foram as que apresentaram maior resistência à perfuração pela broca do aparelho, ou seja, elas possuem baixos níveis de deterioração interna.

No Museu Padre Toledo, no caso dos pilares, não houve o mesmo tipo de correlações entre os resultados obtidos pelos equipamentos, como as correlações do Casarão dos Moura. O pilar que apresentou maior média de módulo de elasticidade dinâmico, obtida pelo uso do *stress wave timer*, foi o pilar D. O pilar B apresentou tendência de menor média, sugerindo maiores níveis de deterioração. Entretanto, com o uso do resistógrafo, observou-se que o pilar B apresentou tendência de maior média de amplitude, ainda que estatisticamente iguais às médias dos pilares A e D. Em todos os pilares, não houve diferença significativa para aplicação do *stress wave timer* nas linhas de compressão, neutra ou de tração, embora tenha havido diferença entre as posições de aplicação, ao longo da altura dos pilares. Já com relação aos espigões, o espigão A apresentou a maior média de módulo de elasticidade dinâmico. Com o resistógrafo, observou-se que o espigão C apresentou maior média de amplitude, ainda que seguido pela média do espigão A, proporcionando boa correlação entre os dados dos equipamentos.

O Casarão dos Quatro Cantos não apresentou correlações significativas entre os resultados obtidos pelos três equipamentos utilizados, à exceção da correlação densidade e amplitude. Com o *stress wave timer*, verificou-se que as vigas F, H, K e E, sendo essa última estatisticamente igual às vigas A, B, C e D, apresentaram maiores médias de módulo de elasticidade dinâmico, sugerindo menores níveis de deterioração. A viga G, com aparente deterioração superficial, apresentou a menor média. Com o uso do resistógrafo, comprovou-se a deterioração interna da viga G, uma vez que ela apresentou tendência de menor média de amplitude da broca do aparelho, comprovando os maiores níveis de

deterioração. Entretanto, sua média foi estatisticamente igual às médias das vigas C, D e H, na quais os dados de módulos tinham sido maiores, sugerindo menores níveis de deteriorações. As médias de amplitudes das vigas A, F e K foram as maiores médias de amplitude, confirmando os menores níveis de deterioração dessas vigas. Nota-se que ora o *stress wave timer* correlaciona-se positiva e ora negativamente com o resistógrafo. Para cálculo das velocidades de ondas de tensão e dos módulos de elasticidade das vigas da edificação, não houve diferença significativa para aplicação do *stress wave timer* nas linhas de compressão, neutra ou de tração.

Como, no Sobrado Ramalho, foram avaliados apenas um pilar e uma viga, não foi possível estabelecer correlações. Para ambos, pode-se concluir que, para cálculo dos módulos de elasticidade dinâmicos, não houve diferença significativa para aplicação do *stress wave timer* nas linhas de compressão, neutra ou de tração. Seus trechos centrais apresentaram menores médias de módulos. Com o uso do resistógrafo, surgiu uma diferenciação entre o pilar e a viga. O primeiro não apresentou diferença significativa entre as direções de aplicação do aparelho, pelo fato de ser muito íntegro e de seção praticamente quadrada ao longo de seu comprimento. Já a viga apresentou diferença significativa, supostamente pelo fato de possuir trincas na sua linha de tração.

Uma vez que não foi possível estabelecer, na maioria das estruturas das edificações, correlações altas e positivas entre o *stress wave timer* e o resistógrafo, pode-se concluir que não se deve utilizar nenhum desses equipamentos individualmente como método exclusivo de análise.

6 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, pôde-se chegar às conclusões a seguir.

6.1 Conclusões relacionadas à metodologia por ensaios não destrutivos de avaliação

- ✓ Os equipamentos de avaliação não-destrutiva *stress wave timer*, *pilodyn* e resistógrafo são complementares. Seus dados nem sempre se correlacionam diretamente, já que seus princípios de atuação são diferentes.
- ✓ Os equipamentos, pouco conhecidos no meio técnico conservacionista de patrimônio, permitem metodologias promissoras para a inspeção de estruturas de madeira em serviço.
- ✓ Para a avaliação detalhada de uma estrutura de madeira, já que o resistógrafo avalia seções pontuais, a metodologia deve prever perfurações numerosas em seções suspeitas, a fim de se mapear precisamente as deteriorações da estrutura.
- ✓ A avaliação gráfica dos perfis gerados pelo resistógrafo é fundamental, uma vez que eles demonstram as oscilações de amplitude e as extensões das possíveis deteriorações.

6.2 Conclusões relacionadas às condições arquitetônicas e culturais que incentivam as deteriorações

- ✓ O maior problema arquitetônico associado a provocar ou a manter umidade nas estruturas foi o microclima interno úmido, com ventilação insuficiente, formado por muros de arrimo de moledo e piso de terra batida.
- ✓ Estruturas de madeira expostas a precipitações, mas também à movimentação frequente de ar, podem sofrer menos deteriorações internas

que estruturas localizadas em microclimas internos sujeitos a umidades altas e constantes.

- ✓ A fonte direta de água associada à deterioração foi o contato com muros de moledo.
- ✓ A falta de verificação periódica do posicionamento e integridade de telhas, a instalação de tubulações hidráulicas sem isolamento e a presença de varais de secar roupa e de “entulhos” nos porões contribuem para a presença de água nas estruturas.

Para trabalhos futuros, fazem-se as seguintes sugestões:

- ✓ aplicação do *stress wave timer* e do resistógrafo na mesma direção, a fim de verificar se as correlações de seus dados apresentam-se frequentemente significativas;
- ✓ estimativa do percentual de deterioração aceitável em peças estruturais de madeira;
- ✓ análise da influência do percentual de deterioração na capacidade de resistência da madeira, utilizando-se o resistógrafo como equipamento de inspeção.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L.B.; MENDES, L.M.; SILVA, J.R.M. Aproveitamento de resíduos de painéis de madeira gerados por indústrias moveleiras na produção de pequenos objetos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.33, n.1, p.171-177, jan./fev. 2009.

ANGHINETTI, H. **Guia para visitantes**: circuito turístico Trilha dos Inconfidentes. Rio de Janeiro: Primyl, 2004. 144p.

ARAÚJO, D.P. **O pensamento de Camillo Boito**: resenhas online. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/resenhas/textos/resenha125.asp>>. Acesso em: 11 abr. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

BEER, F.P.; JOHNSTON JUNIOR, E.R. **Resistência dos materiais**. 3.ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1995. 1255p.

BELIE, N. de; RICHARDSON, M.; BRAAM, C.R.; SVENNERSTEDT, B.; LENEHAN, J.J.; SONCK, B. Durability of building materials and components in the agricultural environment: part I, the agricultural environment and timber structures. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.75, n.3, p.225-241, Mar. 2000.

BOITO, C. **Os restauradores**. São Paulo: Ateliê, 2003. 63p. (Coleção Artes & Ofícios).

BRANDI, C. **Teoria da restauração**. Cotia: Ateliê, 2004. 261p.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília: Senado, 1988. 98p.

BRISCHKE, C.; RAPP, A.O.; BAYERBACH, R.; MORSING, N.; FYNHOLM, P.; WELZBACHER, C.R. Monitoring the “material climate” of wood to predict the potential for decay: results from in situ measurements on buildings. **Building and Environment**, Oxford, v.43, n.10, p.1575-1582, Oct. 2007.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F.A.R.; DIAS, A.A. **Dimensionamento de elementos estruturais de Madeira**. Barueri: Manole, 2003. 152p.

CAVALCANTE, M.S. **Deterioração biológica e preservação de madeiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1982. 41p. (Pesquisa & Desenvolvimento, 8).

CHAVES, C. **O circuito**. Disponível em: <<http://www.trilhadosinconfidentes.tur.br/>>. Acesso em: 21 abr. 2008.

CHOAY, F. **A alegoria do patrimônio**. 3.ed. São Paulo: UNESP, 2006. 288p.

CREDENDIO, J.E. **Igreja de 220 anos é interditada no largo São Francisco**. São Paulo: Folha de São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.nossasaopaulo.org.br/portal/node/268>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

CUNHA, A.N. da. **Guia para visitantes: circuito turístico Trilha dos Inconfidentes**. Rio de Janeiro: Primyl, 2004. 144p.

FEIO, A.O.; LOURENÇO, P.B. Possibilidades e aplicações de ensaios não destrutivos. In: ENCONTRO SOBRE A MADEIRA E SUAS APLICAÇÕES NOBRES "BEM UTILIZAR A MADEIRA", 1., 2005, Lisboa. **Anais...** Lisboa: ISISE, 2005. 1 CD-ROM.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-258.

FERREIRA, D.F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2005. v.1, 664p.

FREITAS, R.R. **Modelo teórico-experimental de deterioração de postes de madeira aplicado ao Estado de São Paulo**. 2009. 301p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais)-Universidade de São Paulo, São Carlos.

FUJII, Y.; FUJIWARA, Y.; YANASE, Y.; OKUMURA, S.; NARAHARA, K.; NGATSUMA, T.; YOSHIMURA, T.; IMAMURA, Y. Nondestructive detection of termites using a millimeter-wave imaging technique. **Forest Products Journal**, Madison, v.75, n.5, p.57-60, Oct. 2007.

GOMES, A.F. **Avaliação das características da madeira e da polpa de *Eucalyptus* mediante a aplicação de métodos não destrutivos na árvore viva.** 2007. 124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GOMES, F.C. **Inovações tecnológicas em estruturas de madeira.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 118p.

HIGHLEY, T.L. **Wood handbook:** wood as an engineering material. Madison: Department of Agriculture, 1999. 463p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Biodeterioração de madeiras em edificações.** São Paulo, 2001. 2p.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. **Histórico.** Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/portal/montarDetalheConteudo.do?id=12149&sigla=Institucional&retorno=detalheInstitucional>>. Acesso em: 5 maio 2008a.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. **Instrumentos de preservação.** Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/portal/montarPaginaSecao.do?id=12141&retorno=paginaphan>>. Acesso em: 5 maio 2008b.

INSTITUTO ESTADUAL DE PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO DE MINAS GERAIS. **Sobre o tombamento.** Disponível em: <http://www.iepha.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=68&Itemid=116>. Acesso em: 5 maio 2008.

INSTITUTO ESTRADA REAL. **O que é a Estrada Real?:** um dos maiores complexos turísticos do Brasil. Disponível em: <http://www.estradareal.org.br/estra_real/index.asp>. Acesso em: 6 abr. 2008.

ITÁLIA. Ministério de Instrução Pública. **Carta do Restauro.** Rome, 1972. 21p.

JAYNE, B.A. Vibrational properties of wood as indices of quality. **Forest Products Journal**, Madison, v.9, n.11, p.413-416, 1959.

JOHNS, C.H.W. **O código de Hamurabi**. Rio de Janeiro: Encyclopaedia Britannica, 1910. Disponível em:
<<http://www.angelfire.com/me/babiloniabrasil/hamur.html>>. Acesso em: 6 maio 2008.

KLAASSEN, R.K.W.M. Bacterial decay in wooden foundation piles: patterns and causes: a study of historical pile foundations in the Netherlands. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Birmingham, v.61, n.1, p.45-60, Jan. 2008.

KÜHL, B.M. A restauração de monumentos históricos na França após a Revolução Francesa e durante o século XIX: um período crucial para o amadurecimento teórico, parte 2. **Revista CPC**, São Paulo, n.3, p.110-144, abr. 2007.

LE DUC, V. **Entretiens sur l'architecture**. Disponível em:
<http://www.ebookslib.com/wp/sendbk.php/f_Acrobat/book_2576/Viollet-le-Entretiens-2576.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2008.

LE MOS, C.I. **O comércio de materiais de demolição**: análise histórica e conceitual sobre a proteção do patrimônio histórico e cultural. São Paulo: Vitruvius, 2004. (Texto Especial, 239). Disponível em:
<<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp239.asp>>. Acesso em: 5 maio 2008.

LIMA, J.T.; DELLA LUCIA, R.M.; VITAL, B.R. Influência do teor de umidade nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.10, n.1, p.27-43, jan./jun. 1986.

LIMA, J.T.; SARTORIO, R.C.; TRUGILHO, P.F.; CRUZ, C.R.; VIEIRA, R.S. Uso do resistógrafo para estimar a densidade básica e a resistência à perfuração da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.75, p.85-93, set. 2007.

LOPEZ, G.A.C.; MONTEIRO, M.B.B.; FRANCO, N.; AMARAL, R.D.A.M. Diagnóstico da biodeterioração e avaliação mecânica de estátua de madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: EBRAMEM, 2008. 1 CD-ROM.

MARIUZZO, P. **Tombamento não é sinônimo de prejuízo**. Disponível em: <<http://www.revista.iphan.gov.br/materia.php?id=106>>. Acesso em: 5 maio 2008.

MASSIF, plaqué, recomposé: aspects et performances du bois. **L'Architecture D'Aujourd'hui**, Paris, v.332, n.1, p.121-124, janv./févr. 2001.

MENEZES, J.N.C. **Estrada Real**. Disponível em: <<http://www.descubraminas.com.br/EstradaReal/default.asp>>. Acesso em: 6 abr. 2008.

MILANESE, A.C.; BITTENCOURT, R.M. Estruturas de madeira em edificações históricas: método para realização de diagnósticos. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: EBRAMEM, 2006. 1 CD-ROM.

MORRELL, J.J. Based building components: what have we learned? **International Biodeterioration & Biodegradation**, Birmingham, v.49, n.4, p.253-258, June 2002.

NOGUEIRA, M. **Classificação de peças de madeira serrada de dimensões estruturais de *Eucalyptus* sp. com uso de ensaios não destrutivos**. 2007. 120f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu.

NUMAZAWA, C.T.D.; VALLE, A. Durabilidade de construções em madeira de origem japonesa no município de Tomé-Açu, Pará, Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: EBRAMEM, 2008. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, F.G.R.; CANDIANB, M.; LUCCHETTEB, F.F.; SALGONB, J.L.; SALESB, A. A technical note on the relationship between ultrasonic velocity and moisture content of Brazilian hardwood (*Goupia glabra*). **Building and Environment**, Oxford, v.40, n.2, p.297-300, Feb. 2005.

OSÓRIO, E.D. **Museologia social**. Porto Alegre: Secretaria Municipal de Cultura, 2000. 138p.

PFEIL, W. **Estruturas de madeira**. 4.ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: LTC, 1985. 296p.

RÅBERG, U.; TERZIEV, N.; LAND, C.J. Early soft rot colonization of Scots sapwood pine in above-ground exposure. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Birmingham, v.63, n.2, p.236-240, Mar. 2007.

ROSADO, S.C.S.; BRUNE, A.; OLIVEIRA, L.M. Avaliação da densidade básica da madeira de árvores em pé. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.7, n.2, p.147-153, 1983.

ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; PELLERIN, R.F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, Madison, v.48, n.1, p.14-19, Jan. 1998.

ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; WANG, X. Structural condition assessment of in-service wood. **Forest Products Journal**, Madison, v.56, n.6, p.4-8, June 2006.

SÁ, I.C. **Oficina de conservação preventiva de acervos**. Porto Alegre: Polígrafo, 2001. Não paginado.

SCHULZE-HOFER, M.C. **Xylophage insekten und andere verursacher von schäden an verbautem araukarien und laubbaumholz: fallstudien an historischen häusern in Rio Grande do Sul, Brasilien**. 2007. 132p. Thesis (Ph.D. in Zoology)-Universität Tübingen, Düsseldorf.

STAMM, A.J. **Wood and cellulose science**. New York: Ronald, 1964. 459p.

STUNGO, N. **Wood: new directions in design and architecture**. Sacramento: Chronicle Books, 2001. 240p.

TELES, R.F.; RIBEIRO, P.G.; DEL MENEZZI, C.H.S. Avaliação estrutural não-destrutiva do prédio Oca II, Universidade de Brasília. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: EBRAMEM, 2008. 1 CD-ROM.

TREVISAN, H.; TIEPPO, F.M.M.; CARVALHO, A.G.; LELIS, R.C.C. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais em função da deterioração em dois ambientes. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.31, n.1, p.93-101, jan./fev. 2007.

TRILHA dos inconfidentes. Disponível em:
<http://www.descubraminas.com.br/destinoturísticos/hpg_circuito.asp?id_circuito=9>. Acesso em: 21 abr. 2008.

VALLE, A.; BRITES, R.D.; LOURENÇO, P.B. Uso da perfuração controlada na avaliação de deterioração da madeira em edificações antigas: estudo de caso. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: EBRAMEM, 2006. 1 CD-ROM.

VASCONCELLOS, S. de. Contribuição para o estudo da arquitetura civil em Minas Gerais, I. **Arquitetura e Engenharia**, Belo Horizonte, v.1, n.2, p.30-35, jul./ago. 1946.

VASCONCELLOS, S. de. **Arquitetura no Brasil**: sistemas construtivos. 5.ed. Belo Horizonte: UFMG, 1979. 186p.

VASCONCELLOS, S. de. A arquitetura colonial mineira. In: LEMOS, C.B. (Org.). **A arquitetura colonial mineira**. Belo Horizonte: BDMG Cultural, 2004. p.7-26, 386p.

WATT, D. Investigating the effects of site and environmental conditions on a historic building and its contents. **Structural Survey**, Bingley, v.19, n.1, p.46-57, Feb. 2001.

WILCOX, W.W.; DIETZ, M. Fungi causing above-ground wood decay in structures in California. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.29, n.3, p.291-298, Mar. 1997.

WILSON, T.R.C. **Strength-moisture relations for wood**. Washington: USDA, 1932. 88p. (Technical Bulletin, 282).

WORTHING, D.; DANN, N. Approaches to the repair of traditional timber-framed buildings: the application of conservation philosophy into practice. **Structural Survey**, Bingley, v.18, n.4, p.136-147, Aug. 2000.

ANEXOS

ANEXO A	Página
FIGURA 1A Capela Nossa Senhora do Porto do Saco, em Carrancas, sendo A: fachada frontal; B: interior da igreja.	128
FIGURA 2A Santuário de Nossa Senhora da Conceição, em Conceição da Barra de Minas, sendo A: fachada frontal; B: detalhe de parte do piso em ardósia e parte em madeira original.	128
FIGURA 3A Igreja de Santo Antônio, em Conceição da Barra de Minas, sendo A: aspecto frontal; B: interior da igreja.	129
FIGURA 4A Igreja Nossa Senhora do Rosário, em Conceição da Barra de Minas, sendo A: aspecto frontal; B: interior da igreja.	129
FIGURA 5A Patrimônios em Coronel Xavier Chaves, sendo A: Capela de Nossa Senhora do Rosário; B: Matriz de Nossa Senhora da Conceição.	130
FIGURA 6A Patrimônios em Entre Rios de Minas, sendo A: Igreja Matriz de Nossa Senhora das Brotas; B: Hospital Cassiano Campolina.	130
FIGURA 7A Matriz de São Gonçalo do Amarante, em Ibituruna, sendo A: fachada frontal; B: interior da igreja.	131
FIGURA 8A Igreja Nossa Senhora do Rosário, em Ibituruna, sendo A: fachada frontal; B: interior da igreja.	131
FIGURA 9A Igreja do Bom Jesus de Matozinhos, em Lagoa Dourada, sendo A: aspecto frontal; B: interior da igreja.	132
FIGURA 10A Igreja Matriz de Santo Antonio, em Lagoa Dourada, sendo A: fachada frontal; B: interior da igreja.	132
FIGURA 11A Igreja Nossa Senhora do Rosário, em Nazareno, sendo A: fachada frontal; B: interior da igreja.	133
FIGURA 12A Matriz de Nossa Senhora de Nazaré, em Nazareno, sendo A: fachada frontal; B: interior da igreja.	133
FIGURA 13A Igreja Nossa Senhora da Penha de França, em Resende Costa, sendo A: fachada frontal; B: interior da igreja.	134
FIGURA 14A Matriz de Santa Rita de Cássia, em Ritópolis, sendo A: aspecto lateral; B: detalhe de parede interna de moledo.	134



(A)



(B)

FIGURA 1A Capela Nossa Senhora do Porto do Saco, em Carrancas, sendo A: fachada frontal; B: interior da igreja.



(A)



(B)

FIGURA 2A Santuário de Nossa Senhora da Conceição, em Conceição da Barra de Minas, sendo A: fachada frontal; B: detalhe de parte do piso em ardósia e parte em madeira original.



(A)



(B)

FIGURA 3A Igreja de Santo Antônio, em Conceição da Barra de Minas, sendo A: aspecto frontal; B: interior da igreja.



(A)



(B)

FIGURA 4A Igreja Nossa Senhora do Rosário, em Conceição da Barra de Minas, sendo A: aspecto frontal; B: interior da igreja.



(A)



(B)

FIGURA 5A Patrimônios em Coronel Xavier Chaves, sendo A: Capela de Nossa Senhora do Rosário; B: Matriz de Nossa Senhora da Conceição.



(A)



(B)

FIGURA 6A Patrimônios em Entre Rios de Minas, sendo A: Igreja Matriz de Nossa Senhora das Brotas; B: Hospital Cassiano Campolina.



(A)



(B)

FIGURA 7A Matriz de São Gonçalo do Amarante, em Ibituruna, sendo A: fachada frontal; B: interior da igreja.



(A)



(B)

FIGURA 8A Igreja Nossa Senhora do Rosário, em Ibituruna, sendo A: fachada frontal; B: interior da igreja.



(A)



(B)

FIGURA 9A Igreja do Bom Jesus de Matozinhos, em Lagoa Dourada, sendo A: aspecto frontal; B: interior da igreja.



(A)



(B)

FIGURA 10A Igreja Matriz de Santo Antonio, em Lagoa Dourada, sendo A: fachada frontal; B: interior da igreja.



(A)



(B)

FIGURA 11A Igreja Nossa Senhora do Rosário, em Nazareno, sendo A: fachada frontal; B: interior da igreja.



(A)



(B)

FIGURA 12A Matriz de Nossa Senhora de Nazaré, em Nazareno, sendo A: fachada frontal; B: interior da igreja.



(A)



(B)

FIGURA 13A Igreja Nossa Senhora da Penha de França, em Resende Costa, sendo A: fachada frontal; B: interior da igreja.



(A)



(B)

FIGURA 14A Matriz de Santa Rita de Cássia, em Ritópolis, sendo A: aspecto lateral; B: detalhe de parede interna de moledo.