

GUSTAVO LACERDA DIAS

**ANÁLISE DE DESEMPENHO ESTRUTURAL APLICADA
A PAREDES EM PAINÉIS DE MADEIRA REVESTIDOS
COM ELEMENTOS CERÂMICOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Florianópolis

2000

**ANÁLISE DE DESEMPENHO ESTRUTURAL APLICADA
A PAREDES EM PAINÉIS DE MADEIRA REVESTIDOS
COM ELEMENTOS CERÂMICOS**

GUSTAVO LACERDA DIAS

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof^a Dr^a Carolina Palermo Szücs

Florianópolis

2000

DIAS, Gustavo Lacerda. *Análise de desempenho estrutural aplicada a paredes em painéis de madeira revestidos com elementos cerâmicos*. Florianópolis, 2000. 94p.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Carolina Palermo Szücs

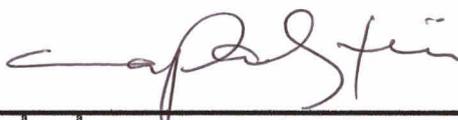
Defesa: Dez/2000

Resumo: Neste trabalho é apresentado um levantamento das técnicas construtivas específicas para aplicação de revestimento cerâmico em paredes de edificações em madeira, que são empregadas em países com ampla tradição em construções com base neste material. Tem o intuito de contribuir para o aprimoramento da tecnologia construtiva voltada ao setor madeireiro brasileiro. Aborda a análise de desempenho de elementos e componentes estruturais como forma de comprovação do desempenho de soluções construtivas quando em uso, submetendo a ensaios protótipos de paredes de edificações em madeira, revestidos com elementos cerâmicos, assentados sobre chapa cimentícia.

Palavras-chave: madeira; desempenho estrutural; cerâmica

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 24 / 03 / 2001,
pela comissão examinadora.



Prof. Dr. Carolina Palermo Szücs – Moderadora



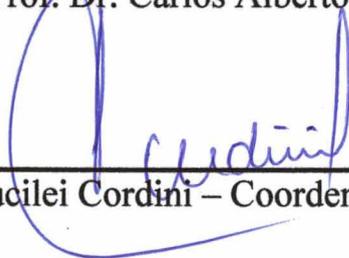
Prof. Dr. Rosa Maria Bittencourt – Examinador Externo



Prof. Dr. Philippe Gleize



Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs



Prof. Dr. Jucilei Cordini – Coordenador do CPGEC

**A Deus,
Pela Criação.
E a meus pais,
Pela educação.**

AGRADECIMENTOS

À Prof.^a Carolina Palermo Szücs, pelo apoio e orientação do trabalho em todos os momentos, até sua conclusão.

Ao Prof. Carlos Alberto Szücs, supervisor do Laboratório de Experimentação em Estruturas (LEE) da UFSC, pelo acompanhamento e valiosa contribuição para a elaboração dos trabalhos experimentais.

Ao Departamento de Engenharia Civil da UFSC, por haver proporcionado as condições necessárias para o desenvolvimento das atividades.

Aos colegas Gertrudes Luz, Sandro Fábio César e Roberto Motta Bez, pela fundamental ajuda na realização da etapa experimental da pesquisa.

Ao exemplar funcionário Edy Assini, pelo auxílio crucial na concepção, fabricação e montagem dos dispositivos de ensaio.

A Cícero da Silva, pelo auxílio na execução dos ensaios experimentais.

Às empresas participantes, que colaboraram com a doação dos materiais constituintes dos corpos-de-prova.

À Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que, pelo seu programa de financiamento, possibilita a realização de pesquisas universitárias.

Aos amigos, que sempre me incentivaram e souberam dar o apoio necessário.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
SUMÁRIO	VI
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE FOTOS	X
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE SÍMBOLOS	XII
RESUMO	XIII
ABSTRACT.....	XIV
APRESENTAÇÃO.....	1
1 INTRODUÇÃO.....	3
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA.....	4
1.2 DELIMITAÇÃO DO ASSUNTO.....	7
1.2.1 Objetivo Geral.....	10
1.2.2 Objetivos Específicos	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 TÉCNICAS PARA APLICAÇÃO DE CERÂMICA SOBRE PAREDES DE EDIFICAÇÕES EM MADEIRA.....	12
2.1.1 Estuque	13
2.1.2 Placa Cimentícia	15
2.1.3 Gesso Acartonado	16

2.1.4	Compensado de Madeira	18
2.2	SISTEMAS CONSTRUTIVOS LEVANTADOS NA PESQUISA DE CAMPO	20
2.2.1	Sistema de Tábuas Verticais com Mata-juntas.....	20
2.2.2	Construções em Madeira Maciça “Empilhada”	22
2.2.3	Técnicas Contemporâneas	25
2.3	REQUISITOS E CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO	28
2.3.1	Requisitos e Critérios de Desempenho Estrutural	30
2.4	ESPECIFICAÇÃO DE ELEMENTOS CERÂMICOS	33
2.4.1	Absorção de Água	36
2.4.2	Expansão por Umidade	37
2.4.3	Resistência Mecânica.....	37
3	MÉTODOS E TÉCNICAS PARA AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL	40
3.1	ESCOLHA DO SISTEMA CONSTRUTIVO E DA TÉCNICA ESPECÍFICA PARA APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO CERÂMICO	40
3.2	METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO ESTRUTURAL DOS PROTÓTIPOS.....	42
3.3	CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA E EXECUÇÃO DOS ENSAIOS.....	44
3.3.1	Ensaio para Determinação da Resistência de Aderência à Tração.....	44
3.3.2	Ensaio de Impactos de Corpo Mole.....	46
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
4	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	57

4.1	ENSAIO DE ARRANCAMENTO – DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO	57
4.1.1	Apresentação dos Resultados.....	57
4.1.2	Considerações sobre os resultados obtidos.....	63
4.2	ENSAIO DE IMPACTOS DE CORPO MOLE.....	64
4.2.1	Apresentação dos Resultados.....	64
4.2.2	Considerações sobre os resultados obtidos.....	67
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	70
5.1	INDICAÇÕES FUTURAS.....	73
	Anexo A – Tratamento Estatístico dos Resultados Experimentais.....	74
	Anexo B – Relação de Empresas Participantes da Pesquisa.....	85
	Anexo C – Dados de Caracterização das Madeiras–Módulo de Elasticidade.....	86
	Referências Bibliográficas.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da técnica de Estuque (Fonte: THALLON, 1997)	14
Figura 2 – Esquema da técnica da Chapa Cimentícia (Fonte: THALLON, 1997). 16	16
Figura 3 – Esquema da técnica do Gesso Acartonado (Fonte: THALLON, 1997). 18	18
Figura 4 – Esquema da técnica do Compensado de Madeira (Fonte: THALLON, 1997)	19
Figura 5 - Exemplo de intervenção no sistema construtivo	25
Figura 6 - Sistema pilar-viga com fechamento em painéis	41
Figura 7 – Seqüência de montagem dos protótipos	41
Figura 8 – Dispositivo para ensaio de impactos de corpo mole	47

LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Sistema de tábuas verticais com mata-juntas.....	21
Foto 2 - Construções em madeira maciça empilhada.....	23
Foto 3 - Técnicas contemporâneas de construção em madeira	27
Foto 4 - Ensaio de arrancamento (Fonte: Dias, 2000)	46
Foto 5 – Seqüência de fabricação dos protótipos de parede (Fonte: DIAS, 2000) ..	53
Foto 6 - Mecanismo para registro de deformações horizontais (Fonte: Dias, 2000)	53
Foto 7 - Protótipo de parede submetido a impactos de corpo mole (Fonte: Dias, 2000).....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos de desempenho segundo norma ISO 6241	29
Tabela 2 – Fatores a considerar na avaliação de desempenho	32
Tabela 3 - Características geométricas, físicas e químicas associadas a placas cerâmicas	35
Tabela 4 - Usos específicos e características de avaliação	38
Tabela 5 - Valores recomendados de impactos de corpo mole para paredes de fachada (externas) – Fonte: MITIDIERI FILHO (1998)	49
Tabela 6 - Valores recomendados de impactos de corpo mole para paredes de divisórias internas – Fonte: MITIDIERI FILHO (1998)	50
Tabela 7 – Relação entre energia de impacto e altura de queda do corpo mole padronizado.....	50
Tabela 8 - 1ª série de ensaios: Painel 1.....	58
Tabela 9 - 1ª série de ensaios: Painel 2.....	59
Tabela 10 - 1ª série de ensaios: Painel 3.....	60
Tabela 11 - Quadro de médias	61
Tabela 12 – 2ª série de ensaios: Quadro Resumo.....	63
Tabela 13 - Deformações horizontais instantânea e residual devidas aos impactos .	66
Tabela 14 - Frequência de descolamento de placas cerâmicas e de trincas no rejunte.....	67
Tabela 15 – Medidas de deformações verticais das tábuas (<i>Buchenavia sp</i>).....	86
Tabela 16 – Cálculo do Módulo de Elasticidade para cada tábua (<i>Buchenavia sp</i>)	86
Tabela 17 - Medidas de deformações verticais das tábuas (<i>E. grandis</i>).....	87
Tabela 18 - Cálculo do Módulo de Elasticidade para cada tábua (<i>E. grandis</i>).....	87

LISTA DE SÍMBOLOS

En	Energia de impacto
E	Módulo de Elasticidade
d_h	Deformação horizontal instantânea
d_{hr}	Deformação horizontal residual
CP	Corpo de prova
CV	Coefficiente de variação
D.Padrão	Desvio padrão
M_0	Medida inicial
M_1	Medida após aplicação de P1
M_2	Medida após aplicação de P1+P2
f1	Deslocamento vertical após aplicação de P1
f2	Deslocamento vertical após aplicação de P1+P2
P1	Peso de massa 8,036 kgf
P2	Peso de massa 8,172 kgf
L	Vão livre da tábua submetida á flexão
b	Largura da tábua
h	Altura da tábua
σ	Tensão máxima de momento fletor na tábua

RESUMO

DIAS, Gustavo Lacerda. *Análise de desempenho estrutural aplicada a paredes em painéis de madeira revestidos com elementos cerâmicos*. Florianópolis, 2000. 94p.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Nste trabalho é apresentado um levantamento das técnicas construtivas específicas para aplicação de revestimento cerâmico em paredes de edificações em madeira, que são empregadas em países com ampla tradição em construções com base neste material. Tem o intuito de contribuir para o aprimoramento da tecnologia construtiva voltada ao setor madeireiro brasileiro. Aborda a análise de desempenho de elementos e componentes estruturais como forma de comprovação do desempenho de soluções construtivas quando em uso, submetendo a ensaios protótipos de paredes de edificações em madeira, revestidos com elementos cerâmicos, assentados sobre chapa cimentícia.

Palavras-chave: madeira; revestimento; compensado; gesso; placa cimentícia; estuque; desempenho

ABSTRACT

DIAS, Gustavo Lacerda. *Structural performance analyses of walls composed of wooden panels covered with tiles*. Florianópolis, 2000. 94p.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

This project investigates the specific construction techniques for applying ceramic tiles over walls of wooden-frame homes, which are commonly used in countries with higher tradition on building with this material. The main purpose is to contribute for the development of construction technology related to wooden-frame constructions in Brasil. It also investigates the performance analysis criterias for testing wooden walls. Finally , prototypes of wooden walls covered with tiles (settled over cementitious backer boards) are submitted to a structural performance analyses, in order to check out the performance of the component under real conditions.

Keywords: wood; plywood; drywall; backer board; Stucco; performance criteria

APRESENTAÇÃO

Este trabalho aborda soluções técnicas construtivas para o revestimento de paredes aplicadas às áreas úmidas de edificações em madeira com material cerâmico. A partir do levantamento das técnicas específicas existentes em outros países, destaca aquela mais adequada ao contexto delimitado pelo trabalho, procedendo-se a análise de desempenho estrutural de um componente construtivo para vedação, revestido com elementos cerâmicos, seguindo a técnica do substrato em placas cimentícias. O estudo está estruturado em cinco capítulos. O **Capítulo 1** introduz aspectos relacionados ao setor habitacional brasileiro e à inserção da madeira neste cenário. Expõe em seguida a justificativa, relevância e delimitação do tema estudado. O **Capítulo 2** apresenta uma revisão da bibliografia existente sobre tópicos relevantes, conceituando e fundamentando teoricamente o estudo. Os **Capítulo 3 e 4** dispõem sobre a parte experimental da pesquisa, compreendendo a descrição de ensaios realizados em laboratório, dos corpos-de-prova confeccionados e dos dispositivos de ensaio. São fixados requisitos e critérios para uma avaliação de desempenho do componente de construção em questão. Em seguida são apresentados os resultados obtidos nos ensaios, acompanhados de sua avaliação crítica. Finalizando, o **Capítulo 5** apresenta as considerações finais sobre as intenções e os resultados alcançados na pesquisa.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

A habitação é uma das necessidades fundamentais do ser humano, uma vez que é ali que ele abriga sua família, realiza suas atividades básicas e estabelece seu referencial social. Podemos melhor perceber a importância da habitação ao refletirmos sobre a abrangente dimensão com que TURNER (1976) trata o termo, estabelecendo-a como o equilíbrio entre três necessidades humanas: *abrigo*, compreendendo a estrutura física e o ambiente construído; *acesso*, que compreende as condições de acesso às atividades de rotina; e *ocupação*, que se refere à confiabilidade conferida ao morador na busca das demais dimensões.

Apesar da importância da habitação, existem em nosso país inúmeras famílias que, devido a conjunturas de ordem política e econômica, estão privadas do abrigo, e muitas outras que vivem em moradias que apresentam desempenho técnico muito aquém do satisfatório. O déficit de moradias aponta números bastante expressivos, e este panorama precisa ser modificado, pois morar em uma habitação adequada é imprescindível para o bom desenvolvimento da estrutura familiar, contribuindo efetivamente para a formação e consolidação da plena cidadania.

A necessidade de construção de moradias, visando a superação do problema apontado, abre espaço para o surgimento de tecnologias construtivas inovadoras como alternativa às tradicionalmente utilizadas na prática da construção civil brasileira. A adoção de novos materiais e processos construtivos exerce um papel importante para a reversão do quadro atual de inércia do setor habitacional. Há uma tendência por processos que visem um maior grau de industrialização da construção civil, seja através da pré-fabricação de elementos e componentes, seja através da racionalização por meio de novos processos construtivos, tudo isso com o objetivo de aumentar a produtividade e diminuir os custos, tornando a execução mais ágil e econômica. SABBATINI (1989) define racionalização construtiva como sendo “um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso dos recursos materiais, humanos,

organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases”.

Seguindo esta ótica, a construção civil voltada à tecnologia da madeira pode exercer um papel relevante, através do desenvolvimento de elementos ou componentes para compor sistemas construtivos, e do aperfeiçoamento das técnicas de se construir. A madeira é um material que reúne características próprias que lhe capacitam para o uso intensivo na construção de moradias e com vocação para a racionalização. Hoje em dia, uma fatia do mercado brasileiro da construção civil é composta por edificações em madeira. Apesar de pouco expressiva, se comparada com a da alvenaria tradicional, a participação das habitações em madeira está consolidada através dos tempos em determinadas partes do país, como na região Sul e na Amazônia, onde já existe uma tradição de se construir com base neste material. A busca por técnicas e processos construtivos que reúnam características que favoreçam a racionalização e modernização da construção em madeira, e que ao mesmo tempo garantam sua qualidade e durabilidade, podem trazer ganhos significativos para o setor.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA

Hoje em dia muito se fala sobre os problemas ambientais da sociedade moderna, em que se destacam a poluição do ar e da água, e o esgotamento dos recursos naturais disponíveis. Até pouco tempo atrás, a humanidade não era atingida pelos efeitos nefastos das ações agressivas ao nosso meio ambiente de forma significativa. O homem ainda não havia se dado conta de que os recursos naturais fossem esgotáveis e que a poluição ambiental tivesse a capacidade de afetar a continuidade da vida na Terra.

Há uma emergente mudança de paradigmas em evolução na sociedade. Segundo MERICO (1996), o nosso desenvolvimento econômico encontrou uma barreira intransponível, que são os limites da biosfera. O autor é um estudioso da Economia Ecológica, uma nova ciência que tem por objetivo básico implementar uma análise econômica que consiga superar a análise exclusiva de fluxo monetário e que considere os fluxos de matéria e energia no ambiente desencadeados pelo processo de produção econômica. Este ciclo caminha no sentido de alterações nas legislações dos países de

forma a se controlar e restringir a fabricação de produtos degradantes do meio ambiente e o uso indiscriminado dos recursos naturais em disponibilidade na superfície de nosso planeta. Este é o resultado da gradual conscientização das pessoas e de mudanças de comportamento na sociedade em geral.

Neste contexto, a madeira – desde que proveniente de florestas manejadas racionalmente – consegue se colocar em sintonia com as exigências de preservação ambiental, ao tratar-se de uma matéria-prima natural e renovável, ao contrário da maioria dos materiais de construção atualmente empregados. Destacam-se as florestas plantadas, que além de se enquadrarem num modelo de sustentabilidade do meio ambiente, aliam alta produtividade e homogeneidade de matéria-prima, o que não ocorre com a madeira proveniente de matas nativas.

O fato de se inserir num modelo de sustentabilidade do meio ambiente não seria relevante para o país caso não houvesse disponibilidade desta matéria-prima em nosso território. O Brasil possui forte vocação florestal, sendo capaz, através de políticas adequadas, de ocupar posição de liderança no panorama da produção florestal mundial. Atualmente, de acordo com DONNELLY e SUCHEK (1997), a área florestada brasileira alcança a cifra de 850 milhões de hectares. A parcela explorada desta área compreende 369 milhões de hectares, dos quais 70 a 80% compreendem a floresta amazônica. As florestas plantadas de rápido crescimento atingem os 4,7 milhões de hectares, em que predominam espécies de *Eucalyptus* e *Pinus*.

O artigo CONSUMO em Alta – Oferta em Baixa (1995) salienta que o cenário futuro contempla que o setor será regido por florestas plantadas – caracterizada por ciclos curtos e produtividade alta – e reciclagem de produtos de madeira e não-madeira. Aliado a isso, a preocupação ambiental tem mostrado um crescimento na certificação de florestas¹, em que se destacam as de florestas plantadas, atendendo ao anseio de um consumidor mais consciente e preocupado com os impactos ao meio ambiente.

¹ Floresta certificada significa que é explorada de forma rentável economicamente, produzindo madeira e seus derivados e, ao mesmo tempo, adequada do ponto de vista ecológico e socialmente benéfica (Revista da Madeira, 25, p. 4).

Outro fator que indica o mercado futuro dominado pelas florestas plantadas, de acordo com FREITAS (1994), é o fato de que a heterogeneidade da floresta tropical nativa torna-se uma desvantagem em termos de produtividade. É possível encontrar até 100 espécies diferentes num hectare de floresta, e a indústria, toda vez que muda de matéria-prima, precisa readequar a linha de produção, sinônimo de perda de rendimento.

Diversas empresas do setor madeireiro que trabalham com madeira reflorestada estão buscando oportunidades de sucesso e lucro através de produtos de maior grau de elaboração, pois deste modo conseguem agregar valor à matéria-prima. De acordo com DONELLY E SUCHEK (1997), o Brasil está realizando importantes esforços com o eucalipto para utilizá-lo como madeira serrada. As grandes empresas estão fazendo enormes investimentos para transformá-lo em uma fonte de matéria-prima para a construção. Diversos contratemplos verificados anteriormente no seu beneficiamento já foram superados através de estudos, tal como os problemas de tensões de crescimento, rachamento durante o desdobro e secagem em estufa, dentre outros.

Na medida em que agentes produtores de madeira plantada encontram formas de agregar valor a seu produto, criam-se perspectivas de crescimento do uso da madeira na construção de moradias. Porém, o aperfeiçoamento da tecnologia voltada à madeira em nosso país é condição fundamental para que sua inserção no panorama da construção civil ganhe cada vez mais espaço e esteja pautada na eficiência e qualidade dos produtos oferecidos. O potencial da madeira para a construção de moradias é indiscutível. A madeira apresenta características próprias e propriedades físicas e mecânicas que a qualificam como material capaz de prover edificações seguras, confortáveis, duráveis e com ilimitada flexibilidade quanto a estilos e soluções arquitetônicas dos espaços construídos. Esta é uma realidade que está presente na prática construtiva de diversos países desenvolvidos do hemisfério norte, cujo público consumidor é bastante exigente quanto à qualidade e confiabilidade das soluções empregadas.

A prática da construção em madeira no Brasil ainda não alcançou um patamar de tecnologia comparável ao desses países, estando marcada pela precariedade das obras executadas. Como constata BITTENCOURT (1995-b), “a falta de tecnologia apropriada ao processo construtivo tem gerado o uso inadequado da madeira. Em linhas gerais, há carência de qualidade, modernização e inovação tecnológica. Isto decorre da ausência de domínio das técnicas, dos métodos e dos processos da tecnologia da madeira. Aliado

a isto, temos ainda a inexistência de elementos normativos capazes de apoiar o profissional no projeto e execução, além da falta de uma indústria madeireira forte e em sintonia com a produção florestal de modo a alavancar o setor”.

A carência tecnológica das edificações em madeira no Brasil reflete o hiato existente entre o produto oferecido no mercado e a satisfação das necessidades de seus usuários. A toda e qualquer edificação está associado um forte valor simbólico, relacionado ao comportamento e aos significados que os indivíduos, e por extensão a sociedade como um todo, imprime aos espaços dos quais faz uso. É preciso ter em mente que as pessoas serão influenciadas em razão da forma como os espaços as atendam em termos de aspectos relevantes ao corpo humano, sistemas sensorial e remoto, e comportamento dos indivíduos (IIDA, 1990). Definitivamente o projeto arquitetônico, englobando desde a concepção dos espaços à especificação técnica de materiais, componentes e elementos construtivos, deve estar em sintonia com as necessidades, desejos e gostos dos usuários, pois a estes estarão sendo transmitidas diversas sensações através de formas, tamanhos, cores, texturas, dentre outras.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ASSUNTO

Como se deseja salientar neste texto, é preciso que as edificações em madeira no Brasil alcancem um nível de desempenho mais apurado, baseado no aprofundamento do conhecimento tecnológico acerca do assunto, de modo a reduzirem-se os problemas decorrentes de obras precariamente concebidas e executadas. A forma como a madeira vem sendo empregada em edificações no Brasil acaba gerando um preconceito que precisa ser superado, pois o ser humano a utiliza desde os tempos mais remotos, e a grande afinidade existente possui um forte valor simbólico por referir-se a valores naturais relacionados à nossa própria condição orgânica (BITTENCOURT, 1995-b).

Um dos pontos de carência tecnológica que merece ser destacado diz respeito às soluções técnicas construtivas para a execução do revestimento das superfícies de parede das áreas úmidas das edificações, que compreendem de modo geral os banheiros, cozinhas e áreas de serviço. Trataremos inicialmente a questão dos significados relacionados a estes ambientes, que determinam que, embora existam diversos materiais

apropriados para revestir locais que mantêm contato freqüente com umidade, em nosso país os elementos cerâmicos formam, de modo geral, a única opção reconhecida pelos usuários. Isto se deve a razões predominantemente culturais, que remontam à nossa colonização portuguesa. É preciso ter em mente que se trata de uma tradição bastante forte e arraigada, e que os aspectos subjetivos envolvidos nesta relação entre consumidor e produto terão importância significativa no grau de satisfação destes usuários, devendo portanto serem considerados quando da especificação das obras em madeira.

Retomando a questão do desenvolvimento tecnológico das edificações em madeira, este trabalho pretende contribuir para o aprimoramento e disseminação da tecnologia da madeira voltada para o setor habitacional, trazendo à luz técnicas construtivas específicas para aplicação de revestimentos cerâmicos sobre paredes de casas de madeira, discutindo suas possibilidades de emprego para a realidade brasileira e destacando os requisitos e critérios de desempenho como condição fundamental para a comprovação de sua capacidade de uso.

Como parte desta pesquisa, foram feitas visitas a diversas empresas especializadas na construção de edificações residenciais e comerciais em madeira, bem como a residências já concluídas e habitadas. A área de abrangência compreendeu principalmente a região de Florianópolis, porém outras empresas com forte participação nos mercados das regiões Sul e Sudeste também foram visitadas, estando sediadas em Santa Catarina, Paraná e São Paulo. A avaliação dos sistemas construtivos adotados e, em particular, dos procedimentos técnicos empregados para solucionar as áreas úmidas, além de entrevistas com empresários e também proprietários de edificações em madeira, tudo isso permitiu traçar um perfil da situação atual do setor nesta região.

Com relação às técnicas específicas para assentamento de elementos cerâmicos em paredes de edificações em madeira, que existem há bastante tempo e são corriqueiramente empregadas em países com tecnologia de ponta em madeira, que serão descritas no segundo capítulo deste trabalho, ficou constatado através das visitas, que as empresas brasileiras não as utilizam em seus sistemas construtivos. Porém, o que surpreendeu foi o fato de que estas empresas, salvo raras exceções, sequer tinham conhecimento da existência de tais técnicas, comprovando a situação de profunda carência tecnológica do setor madeireiro voltado às edificações em madeira.

No estágio atual de desenvolvimento tecnológico, as empresas contactadas empregam basicamente duas práticas construtivas distintas para solucionar as áreas úmidas de suas edificações. Em alguns casos, a solução para estes locais com presença constante de umidade é deixar a superfície final do ambiente em madeira aparente pintada ou envernizada, portanto não empregando revestimento cerâmico. Este contato da madeira com a umidade é indesejável do ponto de vista técnico, pois pode afetar consideravelmente sua durabilidade. Uma outra prática construtiva, que prevalece dentre a maioria das empresas visitadas, consiste no revestimento das paredes das áreas úmidas com elementos cerâmicos; para isto são construídas paredes de alvenaria, empregando tijolos de barro, que servem de substrato sobre o qual a cerâmica pode ser assentada segundo a técnica tradicional com argamassa colante (ou argamassa de assentamento qualquer) aplicada com desempenadeira dentada.

Embora apresente bom desempenho técnico, o emprego deste tipo de solução em edificações de madeira traz inconvenientes que merecem ser destacados. Em primeiro lugar, tende a limitar a flexibilidade do projeto arquitetônico, uma vez que o emprego de paredes de alvenaria requer necessariamente a superposição das áreas úmidas de um andar superior em relação ao inferior, em edificações com mais de um pavimento. Aliado a isso, existe a necessidade de destinação de materiais e mão-de-obra específicos para a realização dos serviços de alvenaria, que é uma técnica construtiva caracterizada pela lentidão de execução e desperdício de materiais. Como consequência, há uma série de limitações quanto ao desenvolvimento do projeto arquitetônico, além de significativa perda de produtividade na execução das obras.

A adequação ao mercado nacional de tecnologias construtivas específicas, como as empregadas em lugares como os Estados Unidos, Canadá e países escandinavos, dentre outros, pode contribuir significativamente para a racionalização e melhoria da qualidade dos produtos oferecidos no mercado de construção. Diante da situação constatada, surge a necessidade da disseminação de técnicas construtivas mais modernas e eficazes para o assentamento de elementos cerâmicos em edificações de madeira. Entretanto, é fundamental que se tenha uma atenção especial para a comprovação do desempenho técnico das soluções quando empregadas em determinado sistema construtivo e em determinado contexto climático. De modo geral, a forma pela qual novos sistemas construtivos ou, de forma menos abrangente, novos elementos e componentes de edificações se transformam realmente em opções aprovadas e adequadas à utilização em

edificações requer um trabalho criterioso de investigação científica e de ensaios experimentais, de modo a se ter a garantia de bom desempenho da solução quando em uso.

1.2.1 Objetivo Geral

- Contribuir para o desenvolvimento tecnológico das edificações em madeira no Brasil, através do levantamento de técnicas específicas para aplicação de elementos cerâmicos em paredes de edificações em madeira e verificando a sua adequação ao contexto tecnológico brasileiro;
- Investigar procedimentos para a análise de desempenho estrutural de elementos de fechamento e paramento de edificações, buscando metodologias que permitam a comprovação do seu desempenho quando em uso.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as dificuldades construtivas de fabricação e montagem dos protótipos de parede configurados por ossatura em madeira, substrato pré-fabricado para aplicação de elementos cerâmicos e revestimento final acabado;
- Avaliar o comportamento dos protótipos de parede com ossatura em madeira, revestidos com elementos cerâmicos através da técnica específica de substrato em placas cimentícias, quando submetidos a metodologia para análise de desempenho estrutural, e comparar duas configurações de protótipos de parede, diferenciadas apenas pela rigidez da trama estrutural de madeira, variando-se as dimensões da seção transversal dos montantes.
- Analisar a eficiência, praticidade e operacionalidade dos ensaios experimentais utilizados para a análise de desempenho estrutural dos protótipos de parede;
- Incentivar o uso de madeira proveniente de florestas plantadas, empregando madeira de *Eucalyptus grandis* na confecção de uma parcela dos corpos-de-prova para os ensaios experimentais.

CAPÍTULO 2

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo aborda temas importantes relacionados ao estudo das técnicas específicas para aplicação de cerâmica em paredes de edificações em madeira. Primeiramente são apresentadas e descritas as principais técnicas existentes em países com aprofundado conhecimento e tradição na construção de edificações em madeira, com destaque para os da América do Norte e da Europa. Em seguida são apresentados e descritos os sistemas construtivos levantados durante a pesquisa de campo, que procurou levantar informações sobre as edificações oferecidas no mercado brasileiro, com o intuito de conseguir subsídios para a análise da concepção dos sistemas construtivos no que tange a compatibilidade entre sistemas e técnicas específicas. Na continuação, discute-se o tema da análise de desempenho de elementos, componentes e sistemas construtivos das edificações, que configura uma ferramenta capaz de assegurar que as soluções técnicas adotadas estejam aptas a cumprirem os requisitos de desempenho esperados. Finalmente, é abordado o elemento cerâmico, com considerações sobre propriedades importantes que devem ser examinadas, visando a correta especificação deste material nas obras de engenharia.

2.1 TÉCNICAS PARA APLICAÇÃO DE CERÂMICA SOBRE PAREDES DE EDIFICAÇÕES EM MADEIRA

As técnicas específicas que permitem o revestimento de edificações em madeira com elementos cerâmicos consistem basicamente na fixação de um substrato (pré-fabricado ou não, dependendo da técnica) sobre a estrutura em madeira da parede. Sobre a superfície deste substrato criado são assentados elementos cerâmicos com o emprego de um material adesivo apropriado, que pode variar em função da técnica adotada. Estas práticas construtivas são empregadas há bastante tempo em diversos países industrializados, estando consagradas perante um público consumidor extremamente exigente quanto à qualidade e confiabilidade das soluções utilizadas.

2.1.1 Estuque

Até o início deste século, significativa parcela das superfícies internas de teto ou parede de edificações em madeira na América do Norte era executada através desta técnica, na qual uma tela é fixada à estrutura de madeira e recebe argamassa de emboço em duas ou três camadas, formando uma superfície rígida e plana, que pode admitir qualquer acabamento, como por exemplo pintura, revestimento cerâmico, pedras naturais, etc.

Inicialmente não se dispunha de uma tela propriamente dita, tendo sido usada, durante muito tempo, uma trama de sarrafos de madeira para servir de base para a argamassa de emboço. Atualmente são empregadas telas expandidas fabricadas para este fim, feitas em metal galvanizado ou recoberto com pintura anti-corrosiva; são usualmente comercializadas no tamanho de 2400mm x 700mm. A tela deve ser capaz de resistir à pressão de aplicação da primeira camada de argamassa, suportá-la ainda enquanto fresca, e formar uma superfície integral com a argamassa após a sua cura (THALLON, 1997).

A tela é empregada na posição horizontal, com superposição nas emendas, podendo ser fixada diretamente à ossatura da parede ou sobre uma sub-base formada por chapas de madeira reconstituída (compensado, OSB²; etc). Isso vai depender da rigidez que se pretenda para o conjunto, em função da própria rigidez da estrutura da parede. A fixação é feita de forma simples, com pregos ou grampos aplicados manualmente ou através de pistolas. Recomenda-se deixar uma membrana impermeabilizante entre a tela e a estrutura da parede para isolar a madeira do possível contato com a umidade.

A argamassa de emboço é formada por duas camadas aplicadas com colher de pedreiro. A primeira camada tem função de propiciar ancoragem mecânica da argamassa na tela metálica. Deve ser suficientemente rugosa de modo a permitir melhor aderência com a segunda camada, que pode ter o mesmo traço e deve ser aplicada após a cura da primeira. Esta última camada deve ser sarrafeada, formando uma superfície plana porém não demasiadamente lisa, para que após sua cura tenha uma textura rugosa de modo a permitir boa aderência com a argamassa colante (ou argamassa de assentamento

² OSB (Oriented Strand Board) é uma chapa de madeira reconstituída, feita a partir de cavacos de madeira (SÁNCHEZ et al., 1995).

qualquer), que é usada para fixar os elementos cerâmicos ao substrato da parede. Sua aplicação deve ser feita com desempenadeira dentada, da maneira tradicionalmente conhecida por qualquer profissional de construção.

Na América do Norte, a técnica do estuque não é mais usada de forma intensiva, por ser muito artesanal, o que se traduz em baixa produtividade, e cara (tanto no custo dos materiais como no da mão-de-obra). Entretanto, é muito apropriada e deve ser especificada em locais onde outros substratos não consigam ter desempenho similar, como em cantos arredondados com curvatura acentuada, ou em locais com alta umidade, como boxes de banheiro, saunas a vapor, etc (BYRNE, 1998).

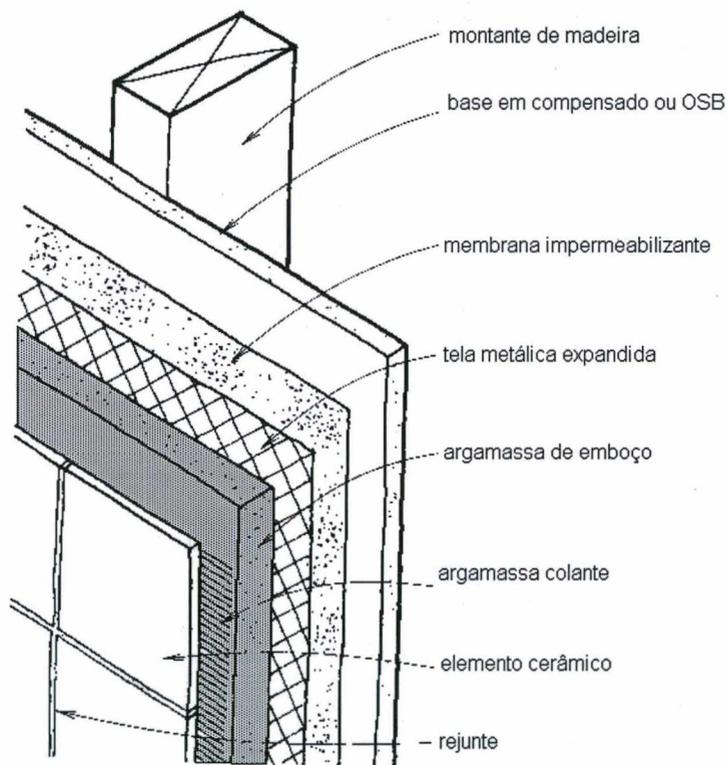


Figura 1 – Esquema da técnica de Estuque (Fonte: THALLON, 1997)

2.1.2 Placa Cimentícia

A placa cimentícia é uma placa delgada pré-fabricada, feita de concreto de baixa densidade, reforçada em ambas as faces com uma tela de fibra de vidro resistente ao ataque químico do cimento. Seu emprego na confecção do substrato para receber a cerâmica permite alta produtividade, na medida em que minimiza os serviços em obra e propicia rapidez na instalação (BRIDGE, 1992).

As placas pré-fabricadas são vendidas normalmente em chapas de 1200mm x 2400mm e espessura de 12,5mm, pesando aproximadamente 50kg, o que dá uma carga de 15 a 18kg/m² de superfície revestida. São fixadas à estrutura de madeira da parede através de pregos ou parafusos, tomando-se o cuidado de deixar uma junta de aproximadamente 3mm de espessura entre as placas, para permitir certa movimentação térmica e/ou higroscópica. Segundo BRIDGE (1992), as juntas são tratadas aplicando-se uma fita de fibra de vidro com aproximadamente 50mm de largura, envolta em argamassa flexível, o que serve para imprimir continuidade à superfície a ser revestida. Para evitar problemas de condensação de água na parte interna e de infiltração de umidade através das placas, é conveniente levar em conta a utilização de barreira de umidade, colocada entre a placa e a estrutura em madeira da parede.

De acordo com BYRNE (1995), as chapas podem ser cortadas fazendo-se um sulco em ambos os lados, com o auxílio de uma ferramenta pontiaguda e régua para direcionar o corte, rompendo-a em seguida com as mãos. Também podem ser cortadas através de serra manual com disco para concreto, o que traz o inconveniente de produzir pó.

A superfície completamente plana que se obtém com as placas serve como base para praticamente qualquer tipo de revestimento em fechamentos e vedações internas e externas, sendo especialmente apropriado para aplicação de revestimento cerâmico. O assentamento das peças é feito com argamassa colante flexível (ou argamassa de assentamento produzida em canteiro) seguindo a prática tradicional com desempenadeira dentada.

THALLON (1997) destaca que o desempenho da placa cimentícia é semelhante ao da técnica do Estuque, podendo ser considerada o seu aprimoramento, na medida em que alia facilidade de instalação a custos bastante reduzidos. Outra característica que herda daquela técnica é ser completamente inerte à ação da água. BRIDGE (1992) considera,

entretanto, que o substrato formado pelas placas cimentícias não consegue um desempenho técnico tão bom quanto aquele obtido através do Estuque, devido à melhor rigidez que esta última proporciona à parede.

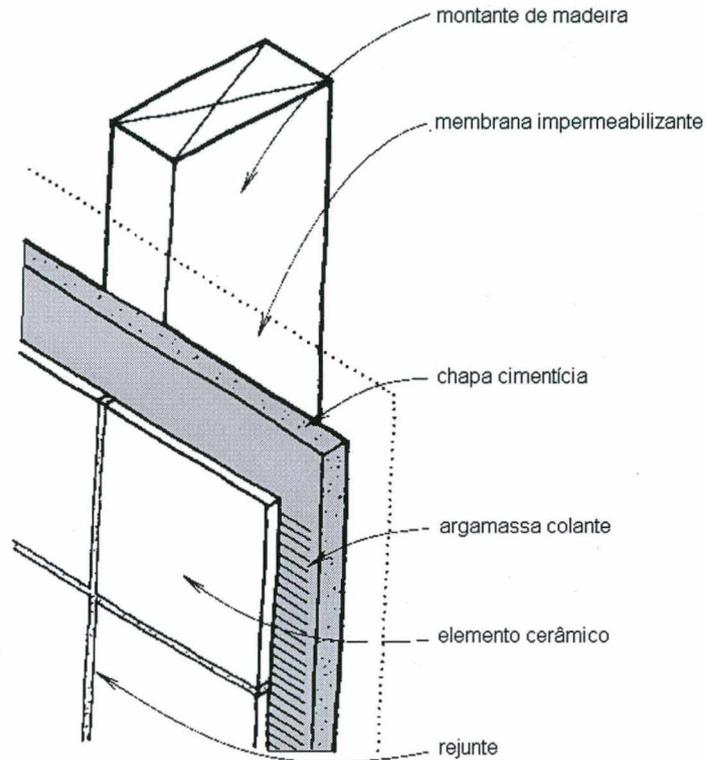


Figura 2 – Esquema da técnica da Chapa Cimentícia (Fonte: THALLON, 1997)

2.1.3 Gesso Acartonado

O gesso acartonado é fabricado em chapas, na qual uma massa de gesso fica envolvida em duas folhas, uma de papel liso e resistente, destinada à face principal, e outra de papel comum para a face de fundo (FERGUSON, 1997). São normalmente comercializadas com dimensões de 1200mm de largura por um comprimento variando entre 1800mm e 2500mm.

Nos anos 40 e 50, as chapas pré-fabricadas de gesso acartonado começaram a substituir a argamassa usada na técnica do Estuque nas construções norte-americanas, devido ao problema dos amplos intervalos de cura da argamassa, que não permitiam imprimir maior rapidez aos serviços de execução (FERGUSON, 1997). Em outras palavras, o gesso acartonado surgiu da busca pela racionalização da construção, através da pré-

fabricação de componentes, que neste caso se refere ao substrato de base das superfícies de paredes e tetos das edificações.

O uso de placas de gesso acartonado em construções no Brasil vem crescendo significativamente nos últimos anos, seguindo uma tendência verificada em outros países. Seu uso está muito difundido principalmente para revestimento de paredes internas de edifícios comerciais e residenciais, basicamente para acabamento em pintura. Embora menos divulgado, esta técnica também permite a aplicação de revestimento cerâmico. Para esta finalidade, de acordo com BYRNE (1998), devem ser usadas as chapas de gesso comuns, apesar de existirem chapas de gesso hidrófugas, impregnadas de silicone e diferenciadas pelos fabricantes pela cor verde de suas superfícies, que não servem entretanto como substrato para aplicação de elementos cerâmicos, pois apresentam uma superfície demasiadamente lisa devido ao silicone, prejudicando a aderência da argamassa colante. As chapas hidrófugas são indicadas para receberem pintura comum ou texturizada em ambientes com presença moderada de umidade.

As placas de gesso podem ser dispostas tanto na horizontal como na vertical. Devem ser fixadas à estrutura de madeira da parede preferencialmente através de parafusos. Após instaladas as placas, efetua-se o tratamento das juntas, feito com fita de fibra de vidro e argamassa, que assegura a continuidade mecânica entre as placas. Estando a superfície de base concluída, pode-se assentar as peças cerâmicas na parede pelo método tradicional, com o uso de argamassa colante flexível aplicada por desempenadeira dentada.

Apesar de indicado para ambientes úmidos, como banheiros, cozinhas, lavanderias e áreas de serviço, o gesso acartonado não é muito recomendável, segundo THALLON (1997) e FERGUSON (1997), para locais com presença constante de umidade, tais como boxes de banheiro, piscinas, etc, pois se alguma umidade passar pela camada de proteção das chapas, provavelmente ocorrerá sua desintegração. Os autores salientam que as chapas de gesso não devem ser empregadas em locais com forte presença de umidade.

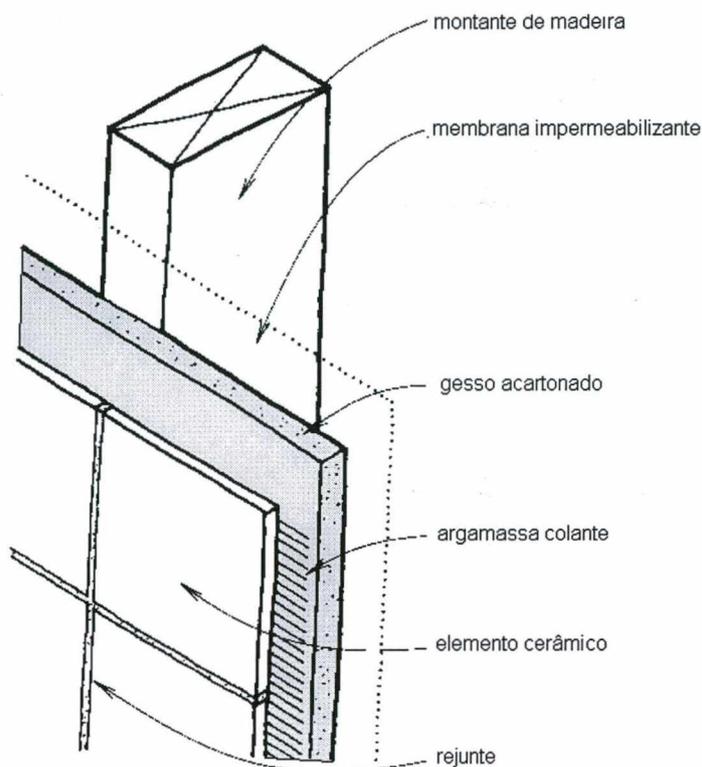


Figura 3 – Esquema da técnica do Gesso Acartonado (Fonte: THALLON, 1997)

2.1.4 Compensado de Madeira

As chapas de compensado são confeccionadas a partir de lâminas de madeira que, após secagem, são coladas em processo industrial a quente, estando as fibras de cada lâmina ortogonal às das lâminas adjacentes (JONES, 1995). As chapas podem ser usadas como substrato para receber revestimento cerâmico. São recomendadas as de uso naval, confeccionadas com cola resistente à ação da água. Facilmente encontradas no mercado, geralmente com dimensões de aproximadamente 2200mm x 1600mm, ou ainda de 2440mm x 1220mm, são vendidas em diferentes espessuras, sendo usuais para a finalidade de assentamento de elementos cerâmicos as de 10mm e 12,5mm.

As chapas devem ser fixadas à estrutura de madeira da parede através de pregos ou parafusos, deixando-se uma folga de 3mm entre chapas, para permitir pequenas movimentações higroscópicas da madeira. O tamanho da cabeça do elemento de fixação e um adequado espaçamento têm um efeito considerável sobre a rigidez do entramado. Em geral, o maior diâmetro e um menor espaçamento melhoram os resultados mecânicos.

Para assentamento das peças cerâmicas, é recomendável o uso de adesivos orgânicos à base de epóxi. Estes adesivos são caros e sua viabilidade econômica deve ser avaliada para cada caso específico. As argamassas colantes normalmente não aderem bem à superfície da madeira, embora em alguns países sejam vendidas argamassas colantes com formulação especial para aplicação direta sobre a lâmina do compensado.

THALLON (1997) considera que os compensados de madeira não são tão estáveis dimensionalmente e não propiciam tão boa aderência quanto outros substratos. BYRNE (1998) acrescenta que o compensado, ao ser usado em locais secos e com clima moderado, consegue manter-se estável, porém em ambientes com alta umidade e com significativas alterações climáticas deve ser evitado. A madeira é um material higroscópico e susceptível a mudanças dimensionais de retração e inchamento, que podem prejudicar o desempenho do revestimento. Além disso, infiltrações de umidade que porventura atinjam as chapas de compensado as deixam vulneráveis ao ataque de fungos apodrecedores.

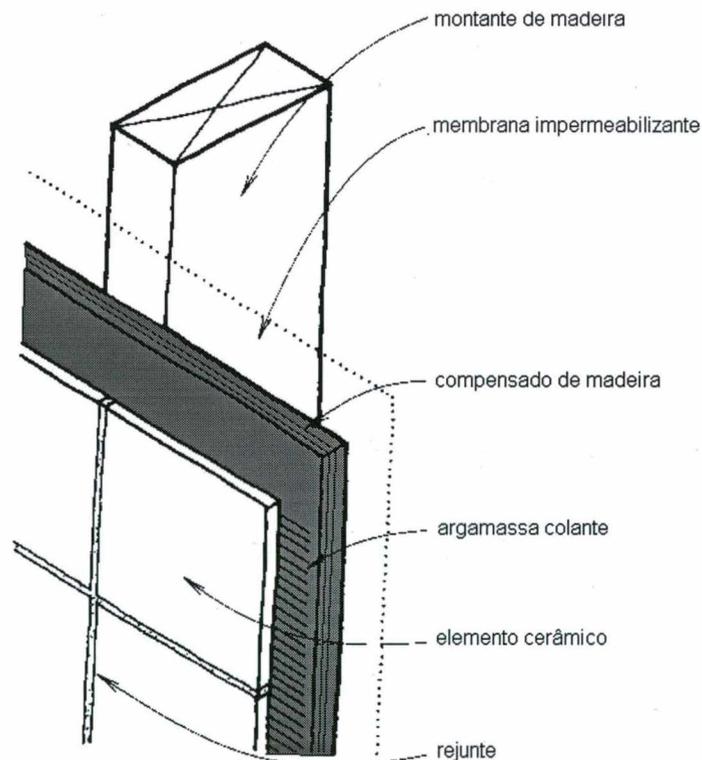


Figura 4 – Esquema da técnica do Compensado de Madeira (Fonte: THALLON, 1997)

2.2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS LEVANTADOS NA PESQUISA DE CAMPO

As técnicas construtivas específicas, que foram apresentadas no item anterior, podem servir a diferentes sistemas construtivos em madeira. Entretanto, é imprescindível que seja efetuada uma avaliação preliminar da concepção do sistema construtivo, para verificação de eventuais incompatibilidades técnicas entre ambos e, a partir destas constatações, sejam feitas alterações no sistema de tal modo que viabilizem a adoção da inovação e evitem o comprometimento de seu desempenho e garantam sua durabilidade.

Nas visitas às empresas de construção de edificações em madeira e a habitações já concluídas e habitadas, foram levantados três diferentes sistemas construtivos predominantes nos mercados das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Na continuação, estes sistemas são descritos, tomando por base a classificação elaborada por BITTENCOURT (1995-a), cabendo também algumas considerações a respeito de detalhes técnicos e construtivos que merecem ser observados.

2.2.1 Sistema de Tábuas Verticais com Mata-juntas

Este é um sistema muito comum nos estados da região Sul. As edificações se caracterizam por serem extremamente precárias e de custo reduzido, e são normalmente destinadas a famílias de baixa renda. As madeiras normalmente empregadas são Pinus, Ipê, Peroba e Araucária, dentre outras.

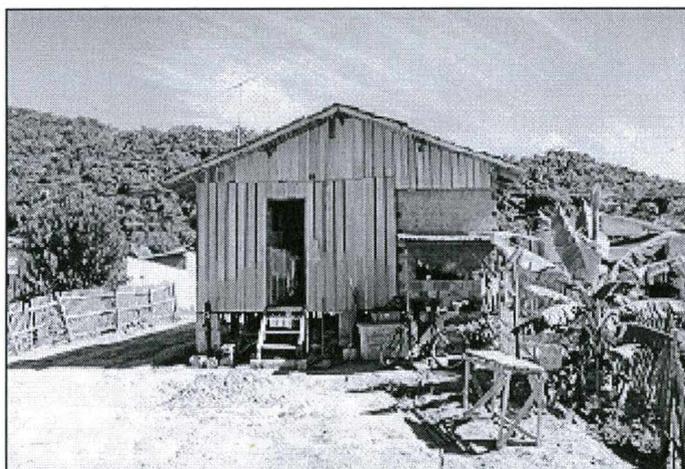
O sistema consiste numa trama leve estrutural em madeira, formando quadros sobre os quais as tábuas são pregadas na posição vertical. Para fazer o arremate, são empregados mata-juntas de modo a tapar as frestas entre tábuas adjacentes. As paredes assim formadas têm a espessura de uma tábua, isto é, cerca de 25 mm. Foi observado que muitas residências sequer possuem portas na separação entre cômodos, devido à precariedade e falta de rigidez das paredes, sendo utilizadas apenas cortinas de tecido.

As áreas úmidas das edificações são solucionadas geralmente da seguinte forma:

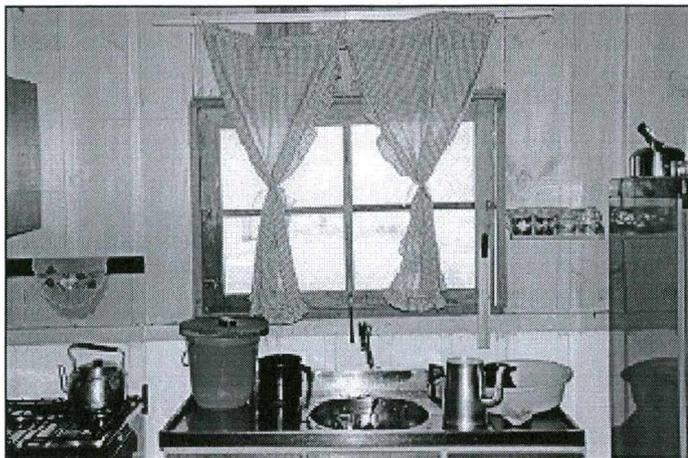
- Os banheiros são construídos em parede de alvenaria de tijolos para servir de substrato para o revestimento cerâmico. É também comum as residências possuírem apenas um único banheiro;
- Na cozinha e área de serviço não há revestimento cerâmico (ou outro revestimento igualmente adequado), ficando as paredes simplesmente em madeira aparente.

O conjunto estrutural formado apresenta baixa rigidez, o que deriva em deslocamentos excessivos dos elementos constituintes. Percebe-se uma grande fragilidade do sistema como um todo, e pode-se constatar que, de forma global, não apresenta condições mínimas para atender aos requisitos de desempenho estrutural esperados de uma edificação. A rigor, seria inviável se pensar em adequar, a este sistema construtivo, qualquer uma das técnicas específicas para assentamento de cerâmica.

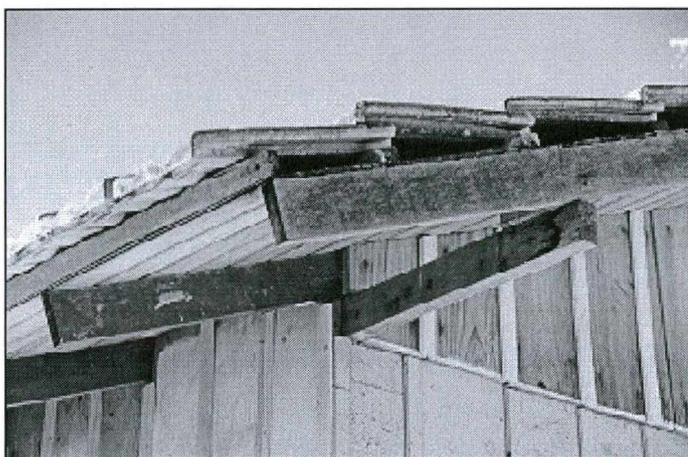
Foto 1 – Sistema de tábuas verticais com mata-juntas



(a) Fachada (Fonte: DIAS, 1999)



(b) Vista de área úmida (Fonte: DIAS, 1999)



(c) detalhe construtivo (Fonte: DIAS, 1999)

2.2.2 Construções em Madeira Maciça “Empilhada”

Este é um sistema difundido em todas as regiões brasileiras. Existem inúmeras empresas especializadas na construção de edificações em madeira que trabalham com este sistema construtivo. Os produtos mais comuns são residências unifamiliares de padrão médio, com um ou dois pavimentos, em muitos casos destinadas a casas de campo ou de veraneio. São também executados estabelecimentos comerciais, como bancas de revista, quiosques, restaurantes e lanchonetes, etc. As empresas empregam variadas espécies de madeira tropical de densidade média a alta, oriundas da região amazônica; muitas possuem sua própria madeireira no norte do país e enviam a madeira já serrada.

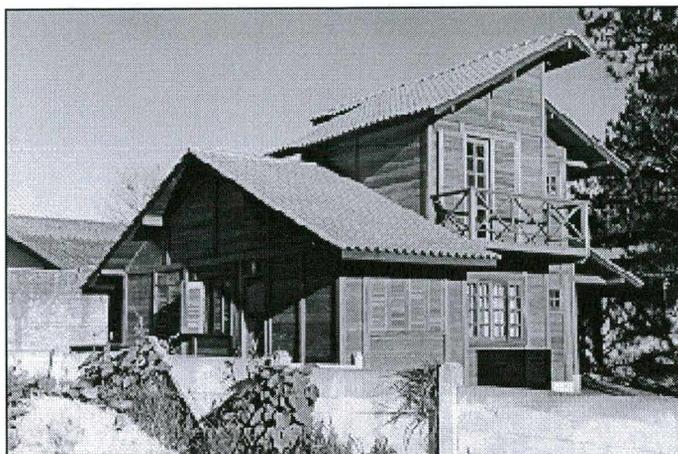
O sistema caracteriza-se por apresentar a madeira maciça sob a forma de pranchas horizontais com junções do tipo macho-fêmea, que vão encaixadas em suas extremidades em montantes verticais, que imprimem maior rigidez às paredes e permitem maior número de aberturas, minimizando os problemas decorrentes da retração das peças (BITTENCOURT, 1995-a). Nesta proposta, a madeira maciça combina as funções estruturais, de fechamento e revestimento, de isolamento térmico e acústico e de impermeabilização.

As áreas úmidas das edificações são solucionadas geralmente da seguinte forma:

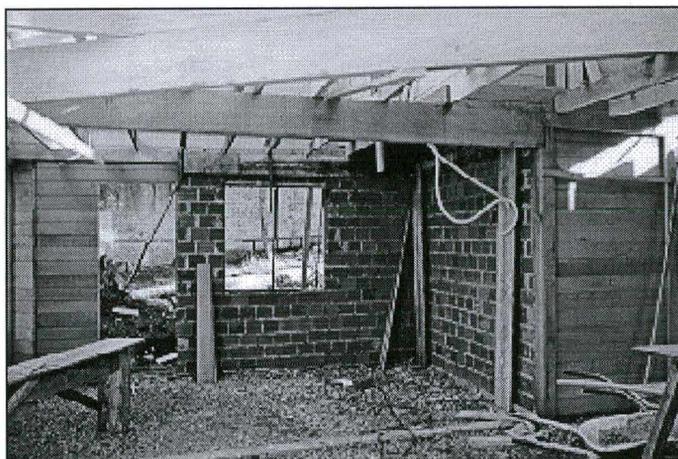
- Nos banheiros, a grande maioria das empresas utiliza paredes de alvenaria de tijolos como substrato para o revestimento cerâmico. Porém algumas empresas optam por deixar as paredes em madeira aparente, à exceção da área do chuveiro, na qual são erguidas pequenas paredes de alvenaria para assentamento do revestimento cerâmico;
- Na cozinha e área de serviço normalmente não se prevê elemento cerâmico, deixando-se o revestimento em madeira aparente. É prática comum erguerem-se meias paredes de alvenaria exclusivamente no local da pia de cozinha para que possa ser assentado o revestimento cerâmico.

A prática mostrou, ao longo do tempo, que existe um ponto vulnerável, intrínseco a este sistema construtivo, que reside nos efeitos causados pelas variações dimensionais de seção das pranchas horizontais, freqüentemente constatado nas empresas visitadas que trabalham com este sistema construtivo. Como as peças trabalham empilhadas uma sobre as outras, as mudanças dimensionais de retração ou de inchamento afetam conseqüentemente as peças adjacentes, havendo em decorrência disso uma significativa alteração da altura da parede, acompanhada normalmente pela abertura de frestas. Aliado a isso, as empresas empregam corriqueiramente madeira verde, com teor de umidade acima do grau de saturação das fibras, o que causa problemas de variação dimensional nos primeiros anos de vida útil das edificações, ou seja, até que a madeira vá secando até atingir equilíbrio higroscópico com o ambiente. É bastante comum paredes que rebaixam de 10 a 15cm ao final deste processo.

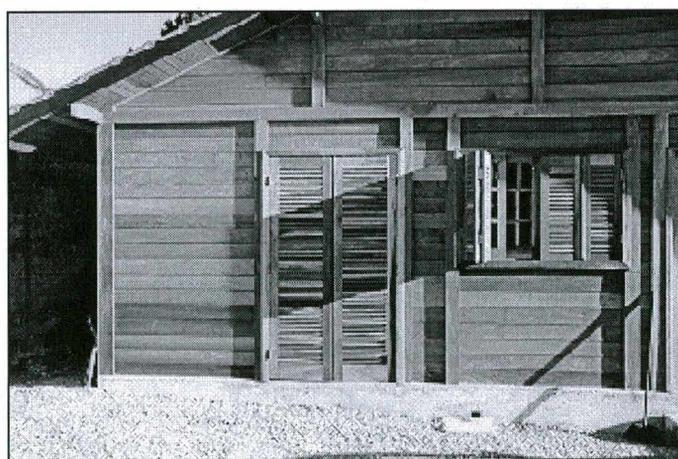
Foto 2 - Construções em madeira maciça empilhada



(a) Fachada (Fonte: DIAS, 1999)



(b) Solução de área úmida (Fonte: DIAS, 1999)



(c) detalhe construtivo (Fonte: DIAS, 1999)

A adequação a este sistema construtivo de uma das técnicas específicas para aplicação de elementos cerâmicos pode ser viável, desde que estes problemas de ordem conceitual sejam examinados e que medidas corretivas sejam tomadas de tal forma que seja possível garantir a compatibilidade entre técnica específica e sistema construtivo.

Como exemplo de solução corretiva criada a partir do estudo do sistema construtivo, SÁNCHEZ (1995) mostra a adoção de conectores deslizantes para unir painéis auxiliares em madeira às pranchas horizontais empilhadas. Sobre estes painéis auxiliares pode-se então fixar um substrato para aplicação de elementos cerâmicos, segundo qualquer uma das técnicas específicas apresentadas neste trabalho.

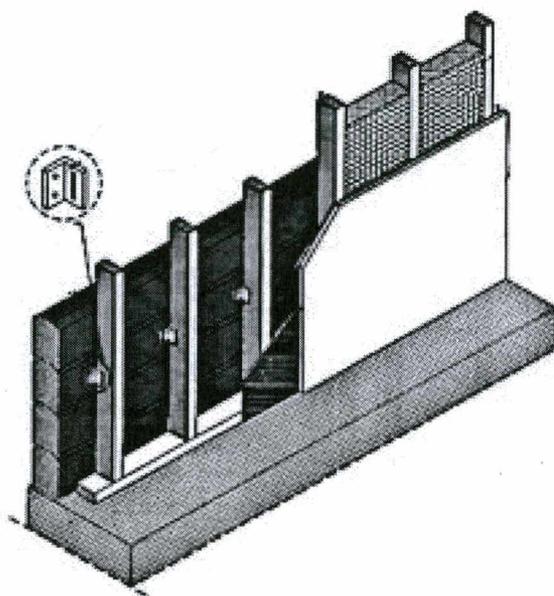


Figura 5 - Exemplo de intervenção no sistema construtivo

2.2.3 Técnicas Contemporâneas

De acordo com BITTENCOURT (1995-a), as técnicas contemporâneas de construção em madeira englobam as estruturas hierarquizadas (ex. pilar-viga), as estruturas nervuradas (ex. sistemas Balão e Plataforma) e as construções em painéis estruturais, e se evidenciam por apresentar maior distinção de elementos e funções. SÁNCHEZ (1995) cita que estas

técnicas alcançam um patamar superior de desenvolvimento tecnológico, se comparadas com os sistemas tradicionais, como as construções em madeira maciça empilhada.

No Brasil, o emprego destas técnicas é pouco difundido. As pesquisas de campo apontaram a existência de algumas edificações construídas através de estruturas nervuradas, do tipo Plataforma, e também em sistema pilar-viga. Em ambos os casos, o fechamento das paredes é composto por uma ossatura em madeira, formando com os revestimentos em ambas faces os painéis-sanduíche. De acordo com SÁNCHEZ (1995), estas técnicas construtivas se caracterizam por empregar um grande número de peças de madeira com seções relativamente delgadas, formando uma trama capaz de resistir aos esforços atuantes na edificação. As peças têm seção transversal retangular, o que se traduz em baixos custos de usinagem. A padronização das peças favorece a modulação e a pré-fabricação de componentes, sendo um fator que beneficia a racionalização da construção.

A ossatura de madeira da parede é composta por montantes verticais e travessas horizontais, que são unidos formando uma trama rígida, que permite receber diferentes tipos de revestimento, como por exemplo lambris de madeira, gesso acartonado, ou elementos cerâmicos aplicados através de uma das técnicas já descritas neste trabalho.

A diferença básica entre as edificações construídas em pilar-viga e as de estrutura nervurada é que no primeiro caso os pilares e as vigas respondem pela parte estrutural, ficando a cargo dos painéis a função de fechamento e revestimento, sendo que a combinação dos elementos portantes leves (ossatura em madeira) com os elementos de fechamento e/ou revestimento, aporta ao conjunto a resistência e rigidez necessárias.

As técnicas específicas para assentamento de elementos cerâmicos foram concebidas originariamente para as estruturas hierarquizadas e nervuradas, havendo portanto uma compatibilidade intrínseca entre tais técnicas e os sistemas construtivos. A questão crucial é quanto à rigidez do conjunto estrutural, uma vez que não havendo rigidez suficiente, haverá deformações excessivas que poderão comprometer a integridade dos revestimentos. Para isto é necessário que a trama estrutural seja capaz de propiciar a rigidez necessária ao conjunto, podendo haver necessidade, em certos casos, de se adotar contraventamento suplementar da estrutura da edificação.

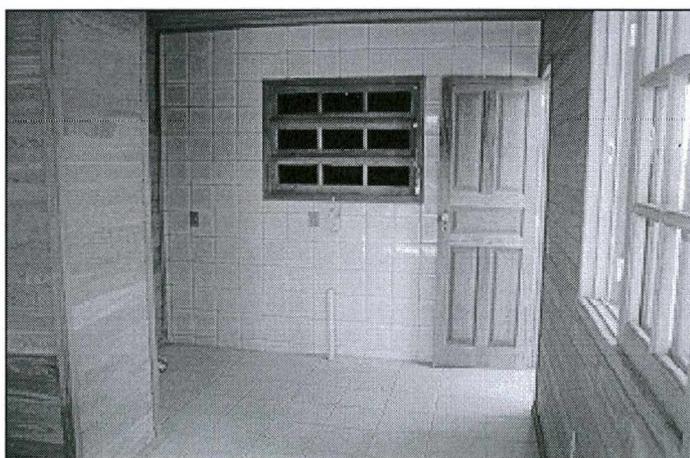
Apesar da vocação para receber as técnicas específicas para assentamento de revestimento cerâmico, ainda assim as empresas visitadas que constróem edificações

em madeira sequer têm conhecimento desta possibilidade, à exceção de uma única empresa, que assenta os elementos cerâmicos sobre compensado de madeira, por meio de adesivo epóxi. As demais solucionam os banheiros através de paredes de alvenaria como substrato para as placas cerâmicas. As cozinhas e áreas de serviço são revestidas com lambris de madeira e em alguns casos apenas as paredes que contém tubulações hidráulicas lançam mão da alvenaria, sendo parcialmente revestidas com cerâmica.

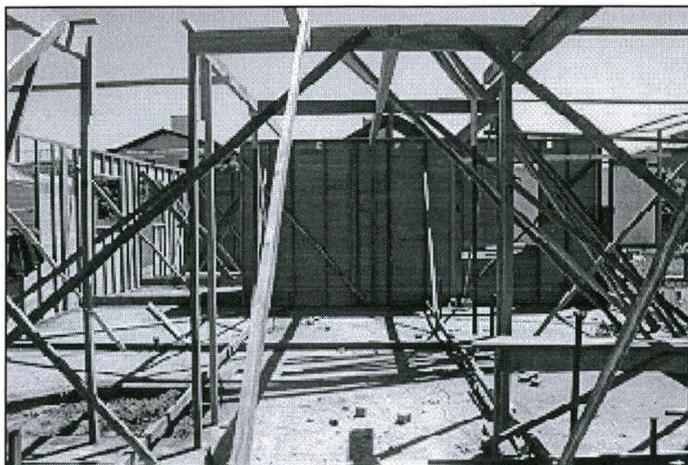
Foto 3 - Técnicas contemporâneas de construção em madeira



(a) Fachada (Fonte: MADECENTER, 2000)



(b) Solução de área úmida (Fonte: MADECENTER, 2000)



(c) detalhe construtivo (Fonte: MADECENTER, 2000)

2.3 REQUISITOS E CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO

Ao tratarmos da adoção de inovações tecnológicas em edificações, é imprescindível que o conjunto concebido tenha um desempenho satisfatório quando em uso, de modo a não haver comprometimento da segurança e durabilidade da construção e suas partes. Para se ter esta comprovação, é necessário que sejam realizados ensaios, seguindo metodologias específicas para a análise do desempenho das edificações, seus elementos e componentes.

Embora possa parecer óbvio, a prática da comprovação do desempenho das soluções construtivas, antes de sua adoção na construção civil, é ainda incipiente, além de relativamente recente. Historicamente, como aponta MITIDIARI FILHO (1998), temos que, após a Segunda Guerra Mundial, houve uma busca pelo desenvolvimento de materiais, componentes e elementos inovadores para serem utilizados na reconstrução do continente europeu. Desde então, diversos sistemas construtivos foram concebidos, cujo foco foi redirecionado para a racionalização e a industrialização do processo construtivo de forma a se obter a redução de custos e de prazos. No Brasil, novos sistemas construtivos começaram a ser concebidos e empregados a partir da década de 70, principalmente em grandes conjuntos habitacionais patrocinados pelo governo federal, numa política de combate ao déficit habitacional crescente. De forma similar à experiência europeia, aqui também foram verificados diversos fracassos.

Nestas primeiras experiências, as tecnologias inovadoras foram sendo empregadas em larga escala, porém sem prévia verificação de seu comportamento em uso. Desta forma, foram diagnosticados inúmeros casos de patologias oriundas das incertezas quanto ao desempenho das novas soluções, havendo a degradação precoce dos imóveis, o que acabou acarretando, como consequência, altos custos de manutenção, ou até mesmo a demolição de unidades residenciais.

Diante deste quadro, começou a ficar em evidência na Europa, desde a década de 60, a necessidade de serem criados mecanismos que viessem a qualificar e a quantificar os fenômenos envolvidos no desempenho de edificações, e que portanto servissem como uma ferramenta capaz de permitir a avaliação da eficiência das soluções técnicas adotadas em projetos construtivos. No Brasil, de acordo com NEVES (1993), citado por OLIVEIRA(1996-a), as pesquisas nesta área iniciaram cerca de uma década mais tarde, através do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, que introduziu no país o conceito de desempenho associado às condições de exposição e, principalmente, às necessidades do usuário.

Segundo SOUZA (1988), “a avaliação de desempenho consiste em prever o comportamento potencial do edifício, seus elementos e instalações, quando submetidos a condições normais de exposição, avaliando se seu comportamento satisfaz às exigências de desempenho”.

Os **requisitos de desempenho** expressam qualitativamente os requerimentos dos usuários, isto é, aqueles parâmetros que traduzem suas necessidades e que deverão portanto ser avaliados e comprovados. A norma ISO 6241³ estabelece quatorze requisitos a serem satisfeitos, sintetizados na tabela 1 abaixo:

³ Norma ISO 6241³ – “Performance Standards in Buildings – Principles for their Preparation and Factors to be Considered” (1984)

REQUISITOS	EXEMPLOS
1. Estabilidade	Resistência mecânica; resistência a impactos.
2. Segurança ao Fogo	Risco de início e propagação do fogo; tempo de evacuação.
3. Segurança ao Uso	Segurança contra invasão e contra agentes agressivos.
4. Estanqueidade	Impermeabilidade quanto a água, ar, gases, poeira.
5. Conforto Higrotérmico	Controle da temperatura do ar; efeitos de condensação.
6. Pureza do Ar	Ventilação; controle de odores.
7. Conforto Acústico	Controle de ruídos internos e externos.
8. Conforto Visual	Iluminação natural e artificial; possibilidade de escuridão.
9. Conforto Táctil	Propriedades das superfícies (aspereza, rugosidade, etc).
10. Requerimentos Dinâmicos	facilidade de movimento (rampas, operação de portas, etc).
11. Higiene	Facilidade para limpeza; abastecimento de água.
12. Conforto Antropodinâmico	Tamanho, geometria e inter-relação dos espaços.
13. Durabilidade	Condições de manutenção regular.
14. Requerimentos Econômicos	Capital, gastos correntes e custos de manutenção.

Tabela 1 – Requisitos de desempenho segundo norma ISO 6241

Dentre os requisitos de desempenho estabelecidos, podemos fazer uma distinção entre aqueles fundamentais, como a segurança estrutural, e aqueles relativos às condições de utilização, como o conforto acústico. Em face da inter-relação dos aspectos físicos, sociais e econômicos envolvidos, para cada situação específica há que se discernir, dentre o leque de requisitos, quais são os mais relevantes (GILBOA et al., 1999).

A partir dos requisitos de desempenho, que estabelecem o que deve ser atendido pelos materiais, componentes e elementos que compõem as edificações, a questão crucial está na elaboração de “meios” para se realizar a avaliação de desempenho, que se colocam sob a forma de **metodologias de ensaio** (ou métodos de avaliação); e na fixação de **critérios de desempenho**, que consistem em valores ou parâmetros que, ao serem confrontados com aqueles obtidos nos ensaios, permitirão a inferência acerca dos resultados obtidos. Uma vez tratando-se da expressão quantitativa de fatores subjetivos relacionados às exigências humanas, não é tarefa fácil a de resumir em números ou parâmetros os critérios de desempenho. Isto deve ficar a cargo de pesquisadores capacitados em laboratórios e centros de pesquisa, que vêm se dedicando continuamente ao tema, trazendo uma importante contribuição para a verificação da qualidade das edificações em geral.

2.3.1 Requisitos e Critérios de Desempenho Estrutural

Para MITIDIARI FILHO (1998), os requisitos e critérios de desempenho estrutural a serem atendidos pelos elementos da habitação devem ser fixados visando garantir que estes não atinjam o estado-limite último, que corresponde à ruína total ou parcial do elemento, seja por ruptura, deformação excessiva ou perda de estabilidade; e o estado-limite de utilização, em que não deve haver comprometimento da durabilidade, seja por fissuração excessiva ou por deformações que estejam acima de limites aceitáveis para utilização do elemento.

Os métodos de avaliação para verificação do atendimento aos requisitos e critérios de desempenho incluem a análise do projeto estrutural (através de cálculos analíticos), a realização de ensaios físicos e mecânicos (em campo ou em laboratório), e a inspeção em protótipos.

MITIDIARI FILHO (1998) propõe critérios de desempenho estrutural que devem ser considerados na avaliação dos seguintes elementos constituintes da edificação: estrutura; fachadas; divisórias internas; pisos; coberturas.

Os aspectos a serem avaliados envolvem a definição dos critérios de desempenho, especificam as ações a considerar, as formas de avaliação para cada critério e os valores recomendados. Os requisitos de desempenho estrutural encerram as seguintes avaliações:

- Estabilidade e resistência estrutural;
- Deformações, fissurações ou ocorrência de falhas sob ação de cargas de serviço;
- Impactos de corpo mole e corpo duro;
- Solicitações decorrentes de cargas provenientes de peças suspensas;
- Cargas concentradas;
- Interação com portas;

- Os fatores a serem considerados para cada elemento da edificação são apresentados na tabela 2:

ELEMENTO	FATORES A CONSIDERAR	
	ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO	ESTADO LIMITE ÚLTIMO
Estrutura (conjunto)	<ul style="list-style-type: none"> - deformações e fissuração - impactos - alterações volumétricas - ação do vento 	<ul style="list-style-type: none"> - estabilidade e resistência - impactos - alterações volumétricas - ação do vento - interação com instalações
Fachadas	<ul style="list-style-type: none"> - Deformações - ação do vento - alterações volumétricas - impactos - cargas concentradas - interação com portas - peças suspensas 	<ul style="list-style-type: none"> - estabilidade e resistência - ação do vento - alterações volumétricas - impactos
Divisórias Internas	<ul style="list-style-type: none"> - Deformações - ação do vento - alterações volumétricas - impactos - cargas concentradas - interação com portas - peças suspensas 	<ul style="list-style-type: none"> - estabilidade e resistência - ação do vento - alterações volumétricas - impactos
Pisos	<ul style="list-style-type: none"> - Deformações - Impactos - cargas concentradas 	<ul style="list-style-type: none"> - estabilidade e resistência - impactos
Coberturas	<ul style="list-style-type: none"> - Deformações - Impactos - cargas concentradas - granizo 	<ul style="list-style-type: none"> - estabilidade e resistência - impactos

Tabela 2 – Fatores a considerar na avaliação de desempenho (MITIDIERI FILHO, 1998)

No âmbito deste trabalho, os requisitos e critérios de desempenho estrutural serão empregados para avaliação de protótipos de parede revestidos com elementos cerâmicos, sob a forma de divisórias internas de edificações em madeira, verificando-se tanto o desempenho da solução técnica ensaiada em si, bem como a aplicabilidade dos métodos de avaliação para análise de desempenho.

2.4 ESPECIFICAÇÃO DE ELEMENTOS CERÂMICOS

Segundo ENRIQUE (1996), até pouco tempo atrás os elementos cerâmicos tinham seu uso limitado ao revestimento de pisos e paredes de cozinhas e banheiros. Com a modernização do setor e os conseqüentes avanços tecnológicos na fabricação, a cerâmica passou a ganhar novos espaços como material de construção. Atualmente, há uma gama enorme de produtos oferecidos em lojas de materiais de construção, e o campo de aplicação tornou-se bastante vasto, estendendo-se a fachadas de moradias e edifícios de apartamentos, locais públicos, ambientes industriais, aeroportos, ginásios esportivos, decoração urbana, entre muitos outros usos.

As indústrias fabricantes de elementos cerâmicos têm procurado investir na qualidade da execução dos serviços de assentamento. Segundo MÁZ (1999), há um novo conceito dentro das indústrias, que é o da obra sistêmica, que determina que a indústria deve fornecer a cerâmica, mas também a argamassa colante adequada e o rejunte apropriado, de acordo com o uso a que se destina a superfície revestida, tudo isso com o intuito de buscar a garantia do bom desempenho do conjunto quando em uso.

De acordo com MEDEIROS (1994), a correta especificação das peças cerâmicas é de fundamental importância para o desempenho que se espera de um revestimento, embora muitos arquitetos e engenheiros ignorem os critérios técnicos de escolha, recaindo normalmente em aspectos de natureza estética e funcional, como cor e textura. Apesar de importantes, estes aspectos não são suficientes para que a especificação seja capaz de eleger a melhor opção para o ambiente que se quer revestir. Os diferentes produtos fabricados trazem diferenças não somente nestes aspectos intuitivos, mas também e principalmente nas características físicas, químicas e mecânicas.

ENRIQUE (1996) define três níveis de características que refletem as expectativas do consumidor, obedecendo a uma hierarquia de seus conhecimentos técnicos, e que serão decisivas para a correta comercialização e posterior desempenho do material em uso:

- a) Características perceptíveis antes de usar: forma, tamanho, cor, aspecto, textura superficial (rugosidade, atrito, etc).
- b) Características relacionadas com a colocação e o armazenamento: maior ou menor facilidade de colocação das placas e com o transporte antes da colocação.
- c) Características de uso: adequação de certas propriedades físicas e químicas das placas ao tipo de solicitação a que estarão expostas (clima e local de uso, por exemplo)

Para auxiliar o consumidor na especificação de peças cerâmicas baseadas em princípios técnicos, destacam-se as normas ISO 10.545⁴ e a NBR13818⁵. Estas normas são abrangentes e se preocupam com o desempenho do produto em uso, determinando ensaios obrigatórios e outros que auxiliam o usuário na escolha, sendo portanto normas de caráter prescritivo. Tratam da terminologia, classificação, especificação e métodos de ensaio relativos a peças cerâmicas.

⁴ ISO 10.545 – Ceramic Tiles (1995)

⁵ NBR 13818 – Placas Cerâmicas para Revestimento – Especificação e Métodos de Ensaio (1997)

A NBR13818 traz uma lista de características geométricas, físicas e químicas associadas a placas cerâmicas, reproduzidas abaixo:

• Características geométricas:	
Dimensões	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lados ▪ Espessura ▪ Ortogonalidade
Forma	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Retitude lateral ▪ Planaridade (curvatura central, curvatura lateral e empeno)

• Características físicas:	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Absorção de água ▪ Carga de ruptura e módulo de resistência à flexão ▪ Abrasão superficial ▪ Abrasão profunda ▪ Gretagem ▪ Expansão por umidade ▪ Resistência ao congelamento (usos em regiões frias) ▪ Dureza Mohs ▪ Dilatação térmica (usos em lareiras e assemelhados) ▪ Choque térmico (usos em lareiras e assemelhados) ▪ Atrito (pisos) ▪ Resistência ao impacto (pisos)

• Características químicas:	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistência ao manchamento ▪ Resistência química para usos domésticos – baixa concentração ▪ Resistência química industrial (usos antiácidos) – alta concentração ▪ Determinação da ausência de chumbo e cádmio (usos em contato com alimentos)

Tabela 3 - Características geométricas, físicas e químicas associadas a placas cerâmicas

ENRIQUE (1996) salienta que, para cada situação de uso, há distintas solicitações e características tecnológicas relevantes que devem ser observadas. Em outras palavras, as características exigidas variam em função da posição (parede ou piso), da situação (interior ou exterior) e da destinação da cerâmica (ambiente residencial, comercial, industrial, etc), sendo conveniente avaliar a importância e prioridade destas características. A tarefa de escolha requer, antes de mais nada, bom senso na compreensão do tipo de atividade a que estarão sujeitas as placas cerâmicas. A especificação apresenta critérios simples porém rigorosos.

Dentre as propriedades associadas às peças cerâmicas, existem algumas que devem ser exigidas independentemente do tipo de uso que se lhes propõe. Este é o caso das propriedades geométricas, tais como dimensões das peças, curvatura, ortogonalidade, planaridade, etc, que devem estar dentro dos intervalos de tolerância determinados nas normas. Porém há outras características – menos conhecidas pela maioria dos consumidores, é verdade – que têm um papel fundamental no momento da escolha, e que portanto devem estar bem compreendidas por aqueles que especificam os materiais.

2.4.1 Absorção de Água

SOARES (s.d.) explica que a capacidade de absorção de água de uma peça cerâmica mede a porosidade aberta do material, isto é, a quantidade de poros comunicados com o exterior e que serão preenchidos com um fluido à pressão atmosférica. Isto está intimamente ligado ao grau de queima e compactação interna do produto queimado. Esta propriedade exerce grande influência sobre as propriedades mecânicas e também sobre a resistência a mudanças bruscas de temperatura e geada. É considerada uma das características mais definitivas do padrão de qualidade do produto, por estar associada a outras propriedades importantes.

2.4.2 Expansão por Umidade

Segundo a NBR 10013⁶, expansão por umidade é um aumento de tamanho da placa cerâmica úmida após um período de tempo, que pode ser de alguns meses ou até mesmo anos, podendo acarretar o estufamento do revestimento instalado. Uma cerâmica de boa qualidade deve ser inerte à ação da umidade. E isto se consegue através de um adequado processo de fabricação, que deve acertar a temperatura e tempo de queima, moagem adequada e boa composição da massa.

Para MIBIELLI (1996), as deformações diferenciais entre o revestimento cerâmico e a base, causadas por expansão por umidade, induzem tensões de cisalhamento que atuam diretamente na interface, podendo provocar o desprendimento das peças. Os problemas acarretados por expansão por umidade são portanto particularmente relevantes em locais onde as peças estarão efetivamente em contato com a umidade, como por exemplo em fachadas, saunas e piscinas.

2.4.3 Resistência Mecânica

Tem uma grande importância quando o revestimento é utilizado na horizontal, sendo relativa a importância para revestimentos verticais, que em situações normais não estarão sujeitos a esforços mecânicos significativos. Os parâmetros de resistência mecânica associados às peças cerâmicas são:

- Resistência à flexão
- Resistência ao risco (Dureza Mohs)
- Resistência à abrasão:
 - superficial (produtos esmaltados)
 - profunda (produtos não-esmaltados)
- Resistência ao impacto

⁶ NBR 10013 – Placas Cerâmicas para Revestimento. Determinação da Expansão por Umidade (1996)

A NBR 13818 fornece uma tabela que relaciona algumas características especialmente importantes segundo os locais específicos de uso:

USOS	CARACTERÍSTICAS
Fachadas, piscinas e saunas	Expansão por umidade
Pisos industriais	Resistência ao impacto
Pisos antiderrapantes	Coefficiente de atrito
Lareiras e assemelhados	Dilatação térmica e choque térmico
Pisos	Carga de ruptura e expansão por umidade
Ambientes externos em regiões sujeitas a neve e geada, e em câmaras frigoríficas	Resistência ao congelamento

Tabela 4 - Usos específicos e características de avaliação

Como podemos constatar, a correta especificação do elemento cerâmico para revestir quaisquer superfícies de paredes ou pisos deve ser feita segundo critérios técnicos e objetivos, e não somente por razões estéticas e funcionais, pois pode afetar de forma decisiva o desempenho do revestimento em uso.

CAPÍTULO 3

3 MÉTODOS E TÉCNICAS PARA AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

Pôde-se constatar, com base no que foi exposto no capítulo anterior, que para que seja comprovado o comportamento de uma parede em madeira empregando uma das técnicas específicas para aplicação de cerâmica, torna-se necessário o cumprimento de duas premissas fundamentais, que são a *análise da concepção* do sistema construtivo sobre o qual as placas cerâmicas serão assentadas, como forma de se assegurar a compatibilidade entre sistema e técnica; e a *análise de desempenho* do conjunto, que pretende comprovar, baseado no resultado de ensaios experimentais padronizados, que o comportamento dos elementos da edificação, quando em uso, atenderá aos requisitos e critérios de desempenho estabelecidos para cada situação.

Na seqüência, será fundamentada a realização de uma investigação experimental que tem por meta submeter protótipos de parede de edificações em madeira, revestidos com material cerâmico, a uma análise de desempenho estrutural, como forma de se avaliar o comportamento da solução construtiva quando em uso. Esta etapa de laboratório objetiva, ao mesmo tempo, observar a aplicabilidade da metodologia para análise de desempenho empregada, e da operacionalidade dos ensaios padronizados quando utilizados na prática.

3.1 ESCOLHA DO SISTEMA CONSTRUTIVO E DA TÉCNICA ESPECÍFICA PARA APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO CERÂMICO

Tomando as soluções contemporâneas de se construir em madeira, optou-se por submeter à avaliação de desempenho painéis de fechamento de paredes, compostos por ossatura interna em madeira e revestimento aplicado a ambas as faces. Estes elementos, denominados painéis-sanduíche, podem ser empregados no fechamento de paredes de edificações construídas por meio de diferentes sistemas construtivos, como o pilar-viga e Balão (casos em que não respondem por função estrutural), além do sistema Plataforma (com função estrutural).

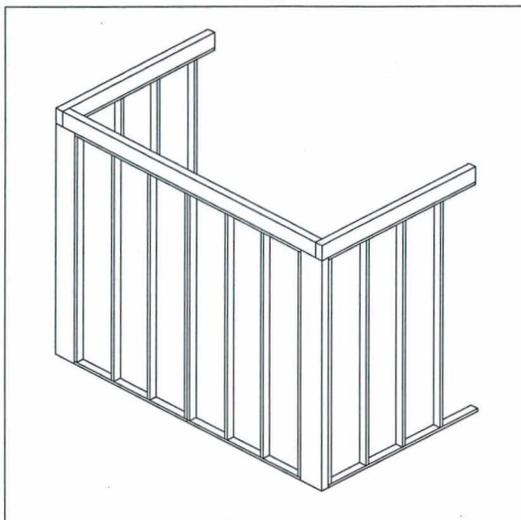


Figura 6 - Sistema pilar-viga com fechamento em painéis

Assim sendo, foram concebidos e confeccionados painéis de parede compostos por ossatura em madeira, com revestimento cerâmico aplicado em uma das faces, permanecendo a face oposta sem nenhum revestimento. A técnica específica adotada para a aplicação dos elementos cerâmicos foi a das placas cimentícias, por se tratar de um produto inovador em nosso país, ainda pouco empregado nas construções brasileiras, e que traz o benefício de conduzir a uma maior racionalização da construção, através da pré-fabricação de componentes.

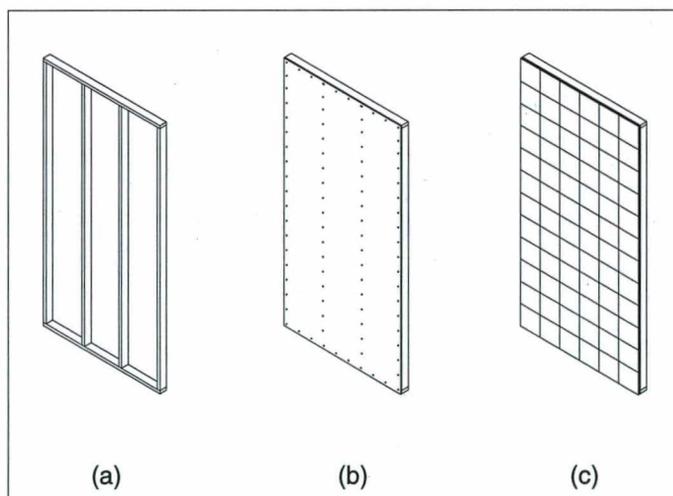


Figura 7 – Seqüência de montagem dos protótipos: (a) ossatura em madeira; (b) chapa cimentícia; (c) revestimento cerâmico

3.2 METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO ESTRUTURAL DOS PROTÓTIPOS

O desempenho estrutural de componentes e elementos construtivos de uma habitação envolve determinadas exigências, que devem ser verificadas através de metodologias que utilizam, como ferramenta, ensaios experimentais padronizados. Os resultados obtidos são expressos em termos quantitativos e/ou qualitativos, sob a forma de números e/ou condições de utilização, que podem ser então comparados aos critérios limites de desempenho. Deste modo, é possível comprovar o desempenho estrutural dos elementos de uma edificação ou, por outro lado, serem detectadas falhas ou limitações que deverão ter suas causas investigadas de modo que intervenções corretivas sejam feitas na configuração do sistema.

Para o caso específico deste trabalho, que tem como meta avaliar o desempenho estrutural de paredes de madeira revestidas com elementos cerâmicos, julgou-se pertinente verificar a sua resistência frente a impactos de corpo mole, pelo fato de terem as solicitações desta natureza um papel importante no comportamento de superfícies de paredes revestidas com elementos cerâmicos. Segundo MIBIELLI (1996), os esforços atuantes na interface revestimento cerâmico/substrato têm diversas origens. Eles podem ocorrer por deformações diferenciais entre o revestimento cerâmico e a base ou por efeitos de vento, vibrações, choques, agentes químicos, etc. Os esforços que têm origem em deformações diferenciais induzem inicialmente tensões de cisalhamento que atuam diretamente na interface. Os esforços deste tipo que ocorrem com maior frequência são causados por: (a) deformações térmicas, (b) deformações por variação no conteúdo de umidade da argamassa (retração e expansão) e (c) deformação da estrutura suporte (deformação elástica, deformação lenta, etc). A aderência deve ser tal que resista à atuação destes esforços, não permitindo descolamentos, fissuras do revestimento, etc.

Portanto, as deformações decorrentes dos impactos de corpo mole produzem deslocamentos horizontais dos componentes estruturais, mais acentuados na região central dos painéis (onde ocorre o choque do corpo mole padronizado), que geram tensões diferenciais de cisalhamento na interface entre as placas cerâmicas e a argamassa colante, bem como na interface entre a argamassa colante e o substrato (no

caso, chapa cimentícia). Estas tensões de cisalhamento são críticas para a superfície revestida e podem causar patologias no revestimento.

A rigor, somente com uma boa aderência da argamassa colante aos elementos cerâmicos e ao substrato, e uma satisfatória rigidez da trama estrutural das paredes, poder-se-ia assegurar uma condição de bom desempenho do conjunto. A aderência será maior ou menor em função das características próprias dos materiais constituintes do revestimento, e de uma correta execução do assentamento. A rigidez da trama estrutural da parede está relacionada à concepção do sistema construtivo e será de fundamental importância para o desempenho da parede revestida com elementos cerâmicos. Quanto maiores as deformações horizontais geradas pelos impactos do corpo mole padronizado, tanto maiores serão as tensões de cisalhamento decorrentes, o que acarretará maior possibilidade de falhas do revestimento.

Os fenômenos abordados acima estarão sendo investigados por meio de uma metodologia de análise experimental que prevê, primeiramente, a realização de ensaios de arrancamento para a determinação da resistência de aderência à tração dos elementos cerâmicos, aplicados sobre as placas cimentícias, por meio de argamassa colante. Após esta etapa, serão submetidos a impactos de corpo mole protótipos de parede revestidos com elementos cerâmicos, para análise de seu desempenho.

A confecção dos corpos-de-prova para os dois ensaios foi viabilizada pela obtenção dos materiais necessários, através de doações feitas por algumas empresas nacionais. A quantidade e as dimensões dos corpos-de-prova foram definidas em função da disponibilidade dos materiais fornecidos. Em alguns casos, não houve possibilidade de se especificar minuciosamente o material desejado, ficando a critério da empresa fornecedora a decisão acerca do tipo e características do produto enviado. As empresas que participaram e os respectivos materiais doados estão relacionadas no anexo B.

3.3 CONFECCÃO DOS CORPOS-DE-PROVA E EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

3.3.1 Ensaio para Determinação da Resistência de Aderência à Tração

a) Descrição do Ensaio

Este ensaio visa determinar a condição de aderência dos elementos constituintes da parede, isto é, do grau de adesão entre as diferentes camadas que compõem o revestimento, que neste caso em particular compreende a chapa cimentícia, a argamassa colante e as placas cerâmicas. Dentro do contexto deste estudo, o ensaio permitirá verificar se os valores de aderência do revestimento são satisfatórios, pois trata-se de um parâmetro importante para auxiliar na posterior avaliação dos protótipos frente a ensaio de impactos de corpo mole, que compreende o ensaio principal desta investigação experimental.

Para a determinação dos valores de resistência de aderência à tração foram feitos ensaios em laboratório, de acordo com os preceitos estabelecidos na norma brasileira NBR 14084⁷. Nela são especificados os materiais e equipamentos necessários, bem como os procedimentos de ensaio. Basicamente, trata-se da aplicação de carga de tração a pequenas porções do revestimento até que haja seu arrancamento, registrando-se o valor da carga máxima de tração aplicada e examinando-se cada peça para descrição do tipo de ruptura, que pode se dar de diferentes formas, quais sejam:

- ruptura na interface argamassa x substrato;
- ruptura na interface argamassa x placa cerâmica;
- ruptura da camada de argamassa colante;
- ruptura do substrato (no caso em particular, da placa cimentícia);
- ruptura da placa cerâmica.

⁷ NBR 14084 – Argamassa Colante Industrializada para Assentamento de Placas de Cerâmica – Determinação da Resistência de Aderência (Abril/1998)

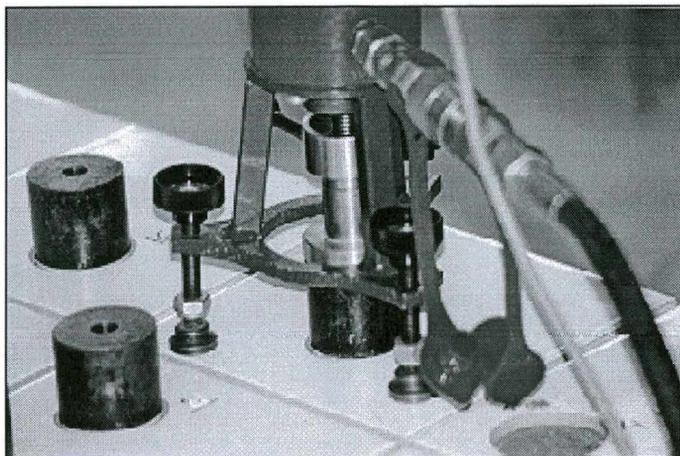
b) Confeção dos corpos-de-prova

Para o ensaio de arrancamento foram montados três quadros de madeira de 800 x 800mm para servir de base para receber o revestimento. Os quadros compunham-se de peças de *Eucalyptus grandis* de 38 x 89mm, espaçadas de 400mm (distância eixo a eixo). Estes quadros receberam um substrato que era composto pela placa cimentícia, fixada através de parafusos auto-atarrachantes fornecidos pelo fabricante do material, que também orientou o espaçamento de 200mm entre parafusos. Sobre a superfície plana assim criada foram assentados os elementos cerâmicos, com o uso da argamassa colante flexível, por meio de desempenadeira dentada com reentrância de 8mm, conforme indicado pelo fabricante da argamassa colante. Foram deixadas juntas de 3mm entre placas cerâmicas, que foram posteriormente rejuntadas. O serviço foi executado por profissional experiente, que foi contratado para a realização das tarefas.

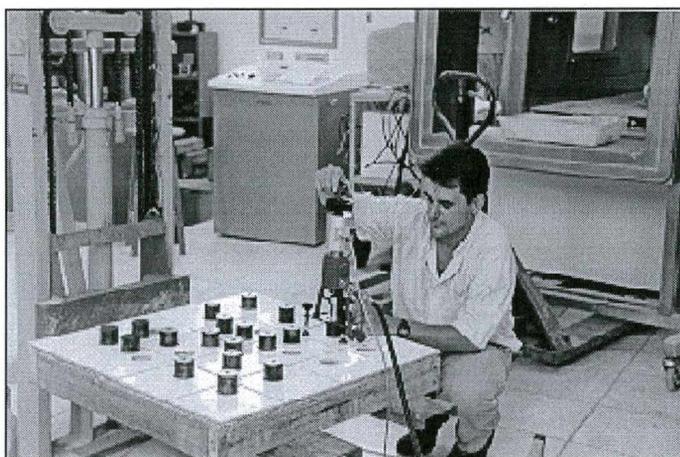
Após um período de pouco mais de trinta dias, em que não houve procedimento de cura da argamassa colante, iniciou-se a execução do ensaio de arrancamento. O primeiro passo foi fazer furações circulares aleatórias no revestimento, com o uso de furadeira com serra-copo de 5cm de diâmetro, acoplada a um dispositivo metálico que permitia limitar a sua penetração, levando-a até bem próximo da interface entre a placa cimentícia e a camada de argamassa colante. Com isto, cada parcela do revestimento fica isolada do restante do revestimento, podendo então ser tracionada de forma independente, permitindo que seja determinada a tração resistida pela parcela.

A etapa de arrancamento foi realizada no Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, que conta com um equipamento específico para a realização deste tipo de ensaio, denominado *Form Test Prüfsysteme*, modelo Digimaxx C21. Para aplicar tração às parcelas de revestimento isoladas pelas furações com serra-copo, são colados discos de aço circulares sobre a superfície de cada parcela. Estes discos possuem um orifício rosqueado que permite o acoplamento do equipamento de ensaio para aplicação da tração no revestimento. A velocidade de aplicação da carga é controlada automaticamente pelo equipamento, que também registra a carga máxima de tração alcançada. Após cada arrancamento, avalia-se a forma como se deu o rompimento e registra-se o tipo de ruptura. Na soma geral, foram arrancados 40 discos, distribuídos aleatoriamente nos três quadros revestidos.

Foto 4 - Ensaio de arrancamento (Fonte: Dias, 2000)



(a) Detalhe do acoplamento



(b) Arrancamento das parcelas de revestimento

3.3.2 Ensaio de Impactos de Corpo Mole

a) Definição dos Requisitos e Critérios de Desempenho

Para submeter os protótipos a ensaio de impactos de corpo mole, foram adotados como referencial os critérios e ensaios padronizados para análise de desempenho estrutural estipulados por MITIDIERI FILHO (1998). Como o autor explicita, “o requisito relativo a impactos especifica que sob ação de impactos de corpo mole decorrentes da utilização normal do edifício ou de fatos acidentais, os componentes estruturais e de

vedação não devem entrar em ruína, apresentar deformações excessivas e nem apresentar danos que comprometam a sua utilização”.

O ensaio consiste na aplicação de variadas energias de impacto (E_n) nos elementos ensaiados, utilizando-se de um corpo de massa definida (M) caindo em movimento pendular, a partir de uma altura (H), que varia em função da energia de impacto que se queira imprimir. Para realizar o ensaio em laboratório, é necessário um dispositivo de ensaio que permita a fixação dos protótipos de parede, de forma que estejam reproduzidos, o mais fielmente quanto possível, os tipos de vínculo previstos no sistema construtivo, e que possibilite a movimentação pendular do corpo mole, caindo das alturas recomendadas e chocando-se contra o protótipo devidamente posicionado.

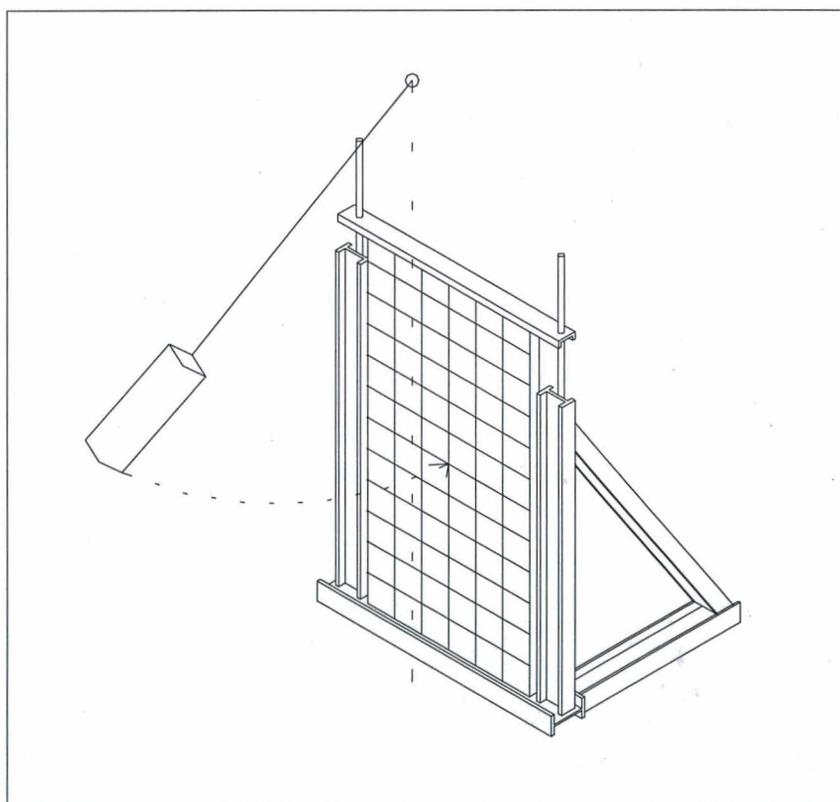


Figura 8 – Dispositivo para ensaio de impactos de corpo mole

A análise de desempenho é feita com base na **resistência** do elemento, isto é, no registro de eventuais rupturas ou danos de ordem estrutural que possam ter ocorrido, e na **deformação** dos componentes do protótipo, ou seja, no registro dos deslocamentos

COMPONENTE		LIMITAÇÕES PARA AS ENERGIAS DE IMPACTO DE CORPO MOLE		
		1º impacto	2º impacto	3º impacto
Paredes de fachadas com função estrutural	Impactos externos (acesso exterior ao público)	En = 240 J . não ocorrência de falhas . $d_h \leq h/250$. $d_{hr} \leq h/1250$	En = 480 J . não ocorrência de falhas	En = 960 J . não ocorrência de ruína
	Impactos internos (todos os pavimentos)	En = 120 J . não ocorrência de falhas . $d_h \leq h/250$. $d_{hr} \leq h/1250$	En = 180 J . não ocorrência de falhas	En = 360 J . não ocorrência de ruína
Paredes de fachadas sem função estrutural	Impactos externos (acesso exterior ao público)	En = 240 J . não ocorrência de falhas . $d_h \leq h/125$. $d_{hr} \leq h/625$	En = 360 J . não ocorrência de falhas	En = 720 J . não ocorrência de ruína
	Impactos internos (todos os pavimentos)	En = 120 J . não ocorrência de falhas . $d_h \leq h/125$. $d_{hr} \leq h/625$		En = 240 J . não ocorrência de ruína

Tabela 5 - Valores recomendados de impactos de corpo mole para paredes de fachada (externas) – Fonte: MITIDIERI FILHO (1998)

H → altura do painel

d_h → deslocamento horizontal instantâneo do painel

d_{hr} → deslocamento horizontal residual do painel

En → energia de impacto

COMPONENTE	LIMITAÇÕES PARA AS ENERGIAS DE IMPACTO DE CORPO MOLE		
	1º impacto	2º impacto	3º impacto
Paredes de divisórias internas com função estrutural	En = 120 J	En = 180 J	En = 360 J
	. limitação da ocorrência de falhas . $d_h \leq h/250$. $d_{hr} \leq h/1250$. limitação da ocorrência de falhas	. limitação da ocorrência de ruína . são admitidas falhas localizadas
Paredes de divisórias internas sem função estrutural (vedação)	En = 120 J	_____	En = 240 J
	. limitação da ocorrência de falhas . $d_h \leq h/125$. $d_{hr} \leq h/625$. não ocorrência de ruína . são admitidas falhas localizadas

Tabela 6 - Valores recomendados de impactos de corpo mole para paredes de divisórias internas – Fonte: MITIDIARI FILHO (1998)

Para reproduzir as energias especificadas no ensaio, a tabela 6 fornece as correspondentes alturas de queda do corpo mole, caindo em movimento pendular, e a massa que deve possuir o saco cilíndrico padronizado:

Impacto	Massa (kg)	Altura (m)	Energia (J)
Corpo mole de dimensões padronizadas (saco de areia e serragem)	40	0,30	120
	40	0,45	180
	40	0,6	240
	40	0,9	360

Tabela 7 – Relação entre energia de impacto e altura de queda do corpo mole padronizado

De posse dos requisitos e critérios de desempenho para análise de desempenho dos protótipos, ficou estabelecido que a seqüência de golpes iria reproduzir a ação de impactos de corpo mole sobre paredes de divisórias internas, tanto para componentes com função estrutural quanto para aqueles apenas com função de fechamento. Preferiu-se limitar os ensaios a este grupo de componentes, excluindo os ensaios quanto a paredes de fachadas, pois havia limitação da quantidade de protótipos de parede, e sendo assim não seria possível abranger todas as alternativas. Portanto, numa primeira abordagem sobre o assunto, julgou-se mais significativo analisar se os protótipos desempenham satisfatoriamente a função de paredes de divisórias internas de edificações em madeira.

b) Confeção dos corpos-de-prova

Para a realização do ensaio de impactos de corpo mole, foram confeccionados protótipos de parede, cuja trama estrutural é formada por uma ossatura em madeira, com dimensões de 1200mm de largura por 2400mm de altura, composta por quatro montantes espaçados de 400mm (distância eixo a eixo), perfazendo a largura de 1200mm, e as travessas inferior e superior. A união das peças foi feita por meio de pregos comuns.

Foram confeccionados no total dez painéis, sendo cinco empregando madeira de *Buchenavia sp*⁸, com seção transversal de 22 x 45mm. Esta madeira, com esta mesma seção transversal e espaçamento de montantes, vem sendo empregada por uma empresa da região de Florianópolis para compor painéis de vedação para sistema construtivo pilar-viga, recebendo originariamente acabamento em lambris de madeira. Neste trabalho, estes mesmos painéis foram revestidos com elementos cerâmicos aplicados sobre substrato composto por placa cimentícia. Os cinco painéis restantes se diferenciam dos primeiros por terem ossatura em madeira de *Eucalyptus grandis* e seção transversal de 38 x 89mm. Estas medidas referem-se ao tamanho padrão comumente empregado na América do Norte, denominado 2" x 4" (medidas nominais).

⁸ *Buchenavia sp* – nomes populares: Tanimbuca; Guarajuba; Timburitá; Mirindiba (MAINERI, 1989)

É importante observar que a rigidez da trama estrutural constitui uma variável relevante para o estudo, pois permite observar o quanto se altera o comportamento de uma parede submetida a impactos de corpo mole, em função deste parâmetro. Por isso foi introduzida esta variável na etapa experimental, configurada sob a forma de duas medidas distintas de seção transversal das peças que constituem a ossatura em madeira dos protótipos. Note-se que, apesar de terem sido usadas madeiras de espécies diferentes, o que poderia supor a incorporação de uma segunda variável, ambas possuem valores de caracterização mecânica bastante semelhantes no que se refere ao módulo de elasticidade à flexão, tendo a madeira de *Eucalyptus grandis* registrado $E = 18007$ MPa, ao passo que a *Buchenavia sp* obteve $E = 20273$ MPa. (ver dados de caracterização no anexo C). A análise estatística destes dados (contidas no anexo A) mostra que não podemos afirmar que existe diferença significativa entre estes valores, com uma confiabilidade de 95%.

Completando a confecção dos protótipos de parede, após concluídas as ossaturas em madeira, foram fixadas as placas cimentícias através de parafusos auto-atarrachantes fornecidos pelo fabricante das placas, em intervalos de 200mm, conforme sua orientação. Em seguida os painéis foram posicionados lado a lado em posição vertical para serem revestidos com elementos cerâmicos. O serviço de assentamento das placas cerâmicas foi efetuado pelo mesmo profissional encarregado dos quadros destinados ao ensaio de arrancamento, tendo sido o trabalho realizado de forma absolutamente idêntica, com rigoroso controle da dosagem e do tempo de abertura da argamassa colante.

Paralelamente à confecção dos corpos-de-prova para os dois ensaios, foi concebido e montado um dispositivo de ensaio para impactos de corpo mole, no qual os perfis de aço superior e inferior fazem a fixação dos protótipos. O perfil superior é móvel para permitir a colocação e retirada dos painéis.

Para o registro das deformações horizontais instantânea e residual da região central dos painéis, foi criado um mecanismo, baseado no proposto pela norma brasileira de impactos em divisórias, que trabalha fixado à parte posterior do protótipo, sendo composto por uma triangulação de hastes metálicas presas à ossatura, que convergem para um ponto comum onde portam um lápis que, pressionado por uma tira de elástico contra uma folha de papel milimetrado, registra as deformações ocorridas após cada impacto.

Na seqüência estão fotos ilustrando a etapa experimental da pesquisa.

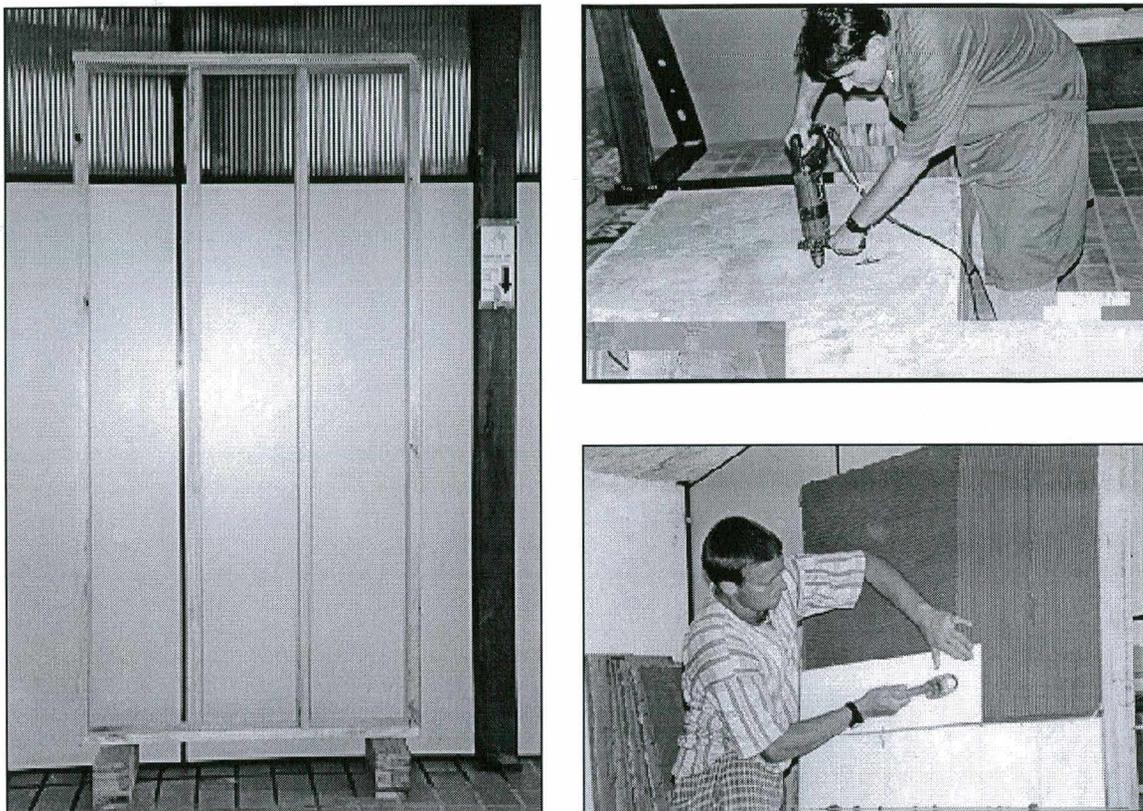


Foto 5 – Seqüência de fabricação dos protótipos de parede (Fonte: DIAS, 2000)

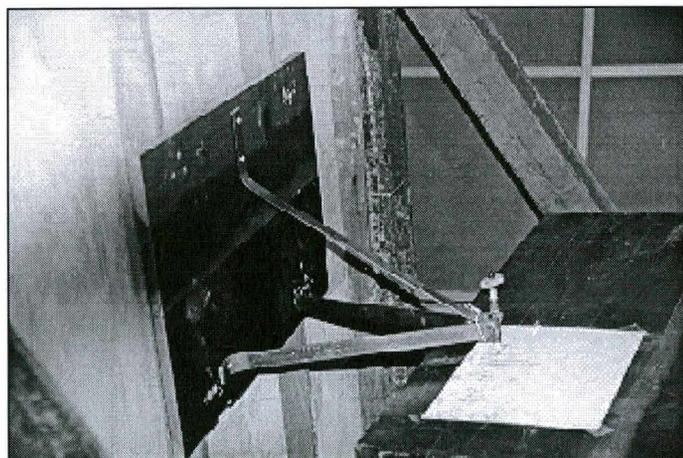


Foto 6 - Mecanismo para registro de deformações horizontais (Fonte: Dias, 2000)

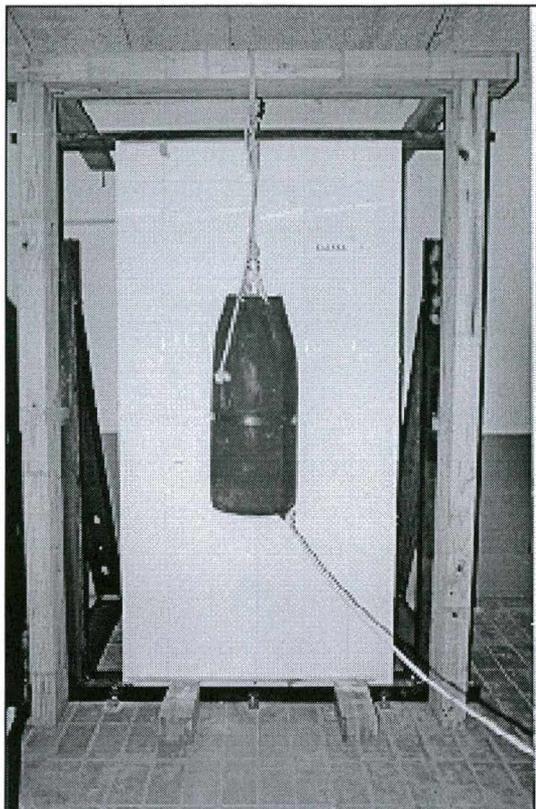


Foto 7 - Protótipo de parede submetido a impactos de corpo mole (Fonte: Dias, 2000)

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A etapa de ensaios experimentais, que compreendeu o período de Novembro de 1999 a Março de 2000, iniciou na obtenção de todos os materiais necessários, através das doações, que foram fundamentais e sem as quais não teria sido possível realizar os ensaios. Na parte inicial, tivemos a preparação e montagem dos corpos-de-prova e, paralelamente a isto, a concepção e montagem do dispositivo de ensaio para a aplicação dos impactos de corpo mole. Antes da realização deste ensaio, houve uma bateria de testes preliminares em painéis-piloto, que permitiu o entrosamento das pessoas envolvidas no ensaio, além de uma série de ajustes nos mecanismos de aplicação dos impactos e de medição das deformações, tudo isso com o objetivo de evitar falhas no momento de ensaiar os efetivos protótipos.

Após a confecção de todos os corpos-de-prova, e de estarem os dispositivos de ensaio devidamente calibrados e sua forma de utilização perfeitamente assimilada, passou-se à

realização dos ensaios propriamente ditos. Primeiramente foram feitos os ensaios de arrancamento, após período superior a 28 dias a partir da data do assentamento dos elementos cerâmicos, para respeitar o período de cura da argamassa colante. Posteriormente foi feito o ensaio de impactos de corpo mole, que finalizou a etapa experimental deste trabalho de investigação.

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios experimentais em laboratório, bem como os respectivos critérios de desempenho, de modo a possibilitar a comparação entre os valores alcançados e aqueles estipulados pela literatura pertinente. A partir da sistematização das informações adquiridas através dos ensaios experimentais, procede-se à sua análise para se inferir o comportamento estrutural, sob solicitação normal de uso, dos painéis de parede revestidos com elementos cerâmicos frente à ação de impactos de corpo mole. Previamente, porém, efetua-se uma etapa de ensaios de arrancamento no conjunto formado pela placa cimentícia, argamassa colante e peças cerâmicas, de modo a se obter um panorama geral das condições de aderência e resistência à tração do revestimento.

4.1 ENSAIO DE ARRANCAMENTO – DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

4.1.1 Apresentação dos Resultados

Conforme foi abordado no capítulo anterior, o arrancamento de cada parcela de revestimento fornece o valor da carga máxima de tração suportada, que deve vir acompanhada da descrição, mediante simples análise visual, do tipo de ruptura observada. Na seqüência estão as tabelas 8, 9 e 10, contendo os resultados de todas as parcelas referentes a cada um dos três quadros confeccionados. A descrição do tipo de ruptura segue a legenda abaixo:

ARG	ruptura na camada de argamassa colante
CER/ARG	ruptura na interface entre cerâmica e argamassa colante
PLACA/ARG	ruptura na interface entre placa cimentícia e argamassa colante

PRIMEIRO ENSAIO DE ARRANCAMENTO		
PLACA 1		
CP N°	Tensão (MPa)	Tipo de Rompimento
1	0,356	50% ARG + 50% CER/ARG
2	0,446	100% ARG
3	****	
4	0,156	50% ARG + 50% CER/ARG
5	****	
6	0,107	100% ARG
7	0,378	100% ARG
8	0,389	100% ARG
9	0,217	100% CER/ARG
10	****	
11	0,198	100% ARG
12	****	
13	0,515	100% ARG
14	****	
15	****	
16	0,043	100%ARG
17	****	
18	****	
19	****	
20	0,585	100% CER/ARG

Tabela 8 - 1ª série de ensaios: Painel 1

PRIMEIRO ENSAIO DE ARRANCAMENTO		
PLACA 2		
CP N°	Tensão (MPa)	Tipo de Rompimento
1	0,25	100% CER/ARG
2	0,19	70% CER/ARG + 30% ARG
3	xxxx	
4	0,328	90% PLACA/ARG + 10% CER/ARG
5	0,151	100% CER/ARG
6	0,298	50% PLACA/ARG + 50% CER/ARG
7	0,165	100% CER/ARG
8	xxxx	
9	0,411	100% PLACA/ARG
10	0,658	40% CER/ARG + 60% ARG
11	0,214	80% CER/ARG + 20% ARG
12	0,408	60% PLACA/ARG + 40% CER/ARG
13	0,296	100% CER/ARG
14	0,313	100% CER/ARG
15	0,26	100% CER/ARG
16	0,296	50% PLACA/ARG + 50% CER/ARG
17	xxxx	
18	xxxx	
19	0,124	100% CER/ARG
20	xxxx	

Tabela 9 - 1ª série de ensaios: Paineis 2

PRIMEIRO ENSAIO DE ARRANCAMENTO		
PLACA 3		
CP N°	Tensão (MPa)	Tipo de Rompimento
1	xxxx	
2	xxxx	
3	0,119	100% CER/ARG
4	0,448	60% CER/ARG + 40% PLACA/ARG
5	xxxx	
6	0,534	60% CER/ARG + 40% PLACA/ARG
7	0,26	100% CER/ARG
8	xxxx	
9	0,247	100% CER/ARG
10	0,209	100% CER/ARG
11	0,32	100% PLACA/ARG
12	xxxx	
13	0,214	70% CER/ARG + 30% PLACA/ARG
14	xxxx	
15	0,24	70% PLACA/ARG + 30% CER/ARG
16	0,271	70% CER/ARG + 30% PLACA/ARG
17	0,439	100% CER/ARG
18	0,515	100% CER/ARG
19	0,558	100% PLACA/ARG
20	0,46	70% PLACA/ARG + 30% CER/ARG

Tabela 10 - 1ª série de ensaios: Paineis 3

Observa-se, nas tabelas apresentadas, que diversos elementos ensaiados não contêm resultado de resistência à tração. Nestes casos, ocorreu desprendimento da parcela de revestimento no momento da realização das furações com serra-copo; isto acontece quando a furadeira se desvia do eixo original de furação e acaba provocando arrancamento da parcela, por efeito de alavanca. Cabe ressaltar que foi empregado um

equipamento manual de suporte ao qual se acopla a furadeira, porém nos parece recomendável o uso de furadeira de bancada, o que minimizaria estes problemas.

Os resultados das três tabelas anteriores estão agrupados de forma resumida no quadro abaixo, para melhor visualização, contendo apenas a média, desvio-padrão e coeficiente de variação de cada quadro ensaiado, bem como o resultado geral agrupando-se todos os valores obtidos. Não estão separados os casos de falha por resistência da argamassa colante e os de falha por má aderência entre materiais constituintes do revestimento, pois não se tem a intenção, neste trabalho, de se aprofundar no entendimento das condições de aderência e resistência à tração do conjunto, mas apenas de se obter a magnitude do poder de suporte do revestimento dos protótipos de parede, que seriam submetidos posteriormente a impactos de corpo mole. Nos ensaios de impactos, a frequência de patologias apresentadas, tais como trincas e descolamento de peças cerâmicas, depende não somente da rigidez da trama estrutural da parede, mas também da aderência e resistência à tração dos materiais constituintes do revestimento.

RESUMO DO PRIMEIRO ENSAIO DE ARRANCAMENTO				
	PLACA 01	PLACA 02	PLACA 03	GERAL
MÉDIA (MPa)	0,308	0,291	0,345	0,315
D. PADRÃO	0,18	0,13	0,14	0,15
CV (%)	56,81	45,66	41,22	46,61

Tabela 11 - Quadro de médias

Para servir de parâmetro comparativo para a análise dos resultados obtidos, podemos dispor das recomendações da norma NBR 14081⁹, que estabelece como requisito para argamassas colantes de Classe I (pisos e paredes para interiores) uma resistência de aderência a 28 dias maior ou igual a 0,5 MPa. Observando-se o quadro de médias, a

⁹ NBR 14081 – Argamassa Colante Industrializada para Assentamento de Placas de Cerâmica – Especificação (1998)

aderência e resistência à tração do revestimento alcançou valores inferiores ao apontado pela norma.

É uma tarefa difícil tentar estabelecer uma causa definitiva que explique o fato dos resultados obtidos terem se enquadrado abaixo do valor mínimo recomendado. Analisando-se o tipo de rompimento registrado para cada corpo-de-prova, podemos perceber que a ruptura se deu preponderantemente na interface entre elemento cerâmico e argamassa colante e também na camada de argamassa (principalmente no quadro 1), havendo raras vezes rompimento na interface entre argamassa colante e placa cimentícia. Isto nos leva a crer que o problema de aderência deva ser localizado, isto é, a deficiência está relacionada ao comportamento da argamassa colante.

A origem pode se dever a diversos fatores, como condições ambientais (o local onde foi feito o assentamento dos painéis era quente e pouco arejado, e no período de armazenamento, sem processo de cura, os corpos-de-prova foram mantidos no mesmo local, onde no mês de janeiro estiveram sob temperaturas elevadas); má execução do revestimento, embora sob este último aspecto tenha havido uma preocupação em se controlar a dosagem da argamassa colante e seu tempo de abertura, seguindo as recomendações contidas nas embalagens, bem como a de se contratar um profissional capacitado, tudo isso com o intuito de se evitar patologias oriundas de má execução do assentamento. Entretanto, segundo GALLEGOS (1995), citado por CARASEK (1996), sabe-se que a mão-de-obra e as técnicas de aplicação podem afetar muito a capacidade de aderência, o que inclui aspectos como o reamassamento e a energia de aplicação da argamassa, por exemplo.

A partir dos resultados obtidos, decidiu-se efetuar uma segunda bateria de ensaios, cujo objetivo era determinar a resistência de aderência à tração entre a argamassa colante e a placa cimentícia, por tratar-se de material pouco conhecido no Brasil e a ruptura nesta interface ter ocorrido em número extremamente reduzido, ficando portanto indeterminada sua aderência. Esta determinação pôde ser feita aproveitando-se, nos três quadros, as cavidades remanescentes do primeiro ensaio, nos locais onde a cerâmica havia descolado com baixos valores de carga. O equipamento de ensaio aplicou então tração a estas parcelas do revestimento, de modo análogo à primeira bateria de ensaios, e assim os valores da resistência de aderência à tração foram registrados na tabela 12.

SEGUNDO ENSAIO DE ARRANCAMENTO			
Determinação da Aderência Placa Cimentícia / argamassa colante			
	CP Nº	Tensão (MPa)	Tipo de Rompimento
PLACA 01	3		100% ARG
	8	1,314	100% ARG
	17	0,934	100% ARG
	21	0,869	100% ARG
	22	1,556	100% ARG
PLACA 02	3	1,074	100% ARG
	5	0,807	100% ARG
	8	1,045	100% ARG
	13	0,774	100% PLACA/ARG
	15	1,116	100% ARG
PLACA 03	3	1,132	100% PLACA/ARG
	9	1,301	100% PLACA/ARG
	10	0,909	100% PLACA/ARG
	14	0,491	100% PLACA/ARG
	15	1,678	100% ARG
	19	0,958	50% PLACA/ARG + 50% ARG
	20	1,862	70% ARG + 30% PLACA/ARG
	MÉDIA	1,114	
	D. PADRÃO	0,357	
	CV (%)	32,05	

Tabela 12 – 2ª série de ensaios: Quadro Resumo

4.1.2 Considerações sobre os resultados obtidos

Como pôde ser constatado através dos resultados experimentais, a resistência de aderência à tração do conjunto formado exclusivamente pela placa cimentícia e a argamassa colante alcançou valores bastante expressivos, bem acima do mínimo recomendado pela norma. Assim sendo, verificou-se que a aderência do revestimento como um todo não é satisfatória, porém que a deficiência se limita à aderência entre

elementos cerâmicos e argamassa colante, bem como na resistência à tração da argamassa colante, sendo plenamente satisfatória entre os demais constituintes do revestimento. Isto implica numa ressalva quanto a possíveis patologias verificadas no ensaio de impactos de corpo mole, como por exemplo trincas ou descolamentos de peças cerâmicas, pois não se poderia precisar a origem de tais patologias, isto é, se oriundas da má aderência ou de uma baixa resistência a impactos de corpo mole. Contudo, a validade deste segundo ensaio não fica comprometida, uma vez que a resistência aos impactos, bem como as deformações causadas aos painéis pelo impacto do corpo mole, independem da aderência da cerâmica, sendo função da rigidez da estrutura dos painéis. Ademais, permanece lícito comparar a frequência e a magnitude das patologias observadas em painéis com diferentes configurações, como é o caso dos dois painéis concebidos para o ensaio, que apresentam diferenças na seção transversal das peças de madeira da ossatura e conseqüentemente na sua rigidez.

4.2 ENSAIO DE IMPACTOS DE CORPO MOLE

4.2.1 Apresentação dos Resultados

Este ensaio teve por objetivo primordial a análise de desempenho dos protótipos de paredes internas de edificações em madeira frente às solicitações de impactos de corpo mole, que reproduz ações decorrentes do uso normal da edificação. Com o intuito de tornar o ensaio mais abrangente, decidiu-se aplicar aos painéis as energias especificadas para a análise de desempenho tanto de paredes internas com função estrutural, bem como daquelas com função apenas de vedação, como forma de se verificar a aptidão de cada lote de painéis, cada qual apresentando uma configuração distinta (variação da rigidez da ossatura em madeira).

Analisando-se as tabelas 5 e 6, apresentadas no capítulo anterior, podemos observar que a situação menos rigorosa de avaliação corresponde evidentemente ao caso de paredes internas sem função estrutural, cujas alturas de queda especificadas são as de 0,30m (com determinação dos deslocamentos horizontais instantâneo e residual), e de 0,60m, em que se limita simplesmente a ocorrência de ruína do protótipo. No outro caso de parede interna, ou seja, aquele relativo a componentes com função estrutural, prevê-se

alturas de queda distintas das anteriores (0,30m, com registro das deformações horizontais; 0,45m e 0,90m) e que, além disso, estão dispostas de forma intercalada, não permitindo, a rigor, que um único painel seja avaliado como sendo de ambas as possibilidades, pois após aplicar-se o primeiro impacto, cuja altura de 0,30m é comum a ambos os casos, ter-se-ia que optar entre as alturas de 0,45m e 0,60m, que correspondem ao segundo impacto em cada caso.

Deste modo, a solução adotada consiste numa seqüência de impactos na qual são aplicadas energias correspondentes ao caso de paredes internas com função apenas de vedação (alturas de 0,30m e 0,60m) e, ao final do ensaio, caso o protótipo apresente boas condições aparentes de uso, o que significa não atingir ruína total ou parcial, pode então ser aplicada uma nova energia de impacto correspondente ao terceiro impacto especificado para paredes internas com função estrutural, isto é, com altura de queda de 0,90 metros. Com isto estar-se-ia contemplando uma situação na qual cada protótipo poderia estar submetido a análise de desempenho tanto para o caso de paredes internas de vedação, bem como de paredes internas com função estrutural, havendo apenas uma alteração da energia correspondente ao segundo impacto. Em outras palavras, a altura relativa a esta energia seria de 0,60m ao invés dos 0,45m originais, permanecendo inalterado todo o restante. Como, para esta segunda energia de impacto, não é necessário registrar deformações horizontais, havendo simplesmente a limitação da ocorrência de falhas, considera-se pertinente e oportuno estender a análise de desempenho dos painéis para as duas situações em estudo.

Baseado no exposto acima, temos a tabela 13 mostrando os valores das deformações horizontais instantânea e residual, que foram tomadas para todas as energias de impacto aplicadas, apenas para efeito de comparação entre painéis, pois não fazem parte dos critérios de desempenho especificados.

Para finalizar a apresentação dos resultados obtidos, é apresentada a tabela 14, que mostra a freqüência das patologias registradas, sob a forma de porcentagem de elementos cerâmicos descolados, em relação ao total de peças em cada painel, assim como a porcentagem do comprimento das trincas, em relação ao comprimento total de rejunte.

Altura de Impacto	0,30m		0,60m		0,90m		
	Dh	Dhr	Dh	Dhr	Dh	Dhr	
PAINEL			acumulado		acumulado		
No.	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
PAINÉIS <i>Buchenavia sp</i>	1	19	1	31	3	49	3
	3	24	2	40	7	52	9
	4	25	4	39	7	53	7
	7	28	1	46	3	62	10
	10	30	2	41	2	48	4
	média	25,2	2	39,4	4,4	52,8	6,6
PAINÉIS <i>E. grandis</i>	2	8	1	13	1	19	1
	5	11	3	15	5	21	5
	6	11	2	14	2	18	2
	8	9	0	15	0	17	0
	9	12	1	17	1	21	1
média	10,2	1,4	14,8	2	19,2	1,8	
Limite 1	9,6	1,92	(para paredes internas estruturais)				
Limite 2	19,2	3,84	(para paredes internas não estruturais)				

Tabela 13 - Deformações horizontais instantânea e residual devidas aos impactos

Altura de Impacto		0,30m		0,60m		0,90m	
		Cerâmicas descoladas	Trincas no rejunte	Cerâmicas descoladas	Trincas no rejunte	Cerâmicas descoladas	Trincas no rejunte
PAINEL	No.	%	%	%	%	%	%
PAINÉIS <i>Buchenavia sp</i>	1	0	0	0	0	15,3	26,6
	3	0	0	0	12,3	4,2	37,1
	4	0	0	1,4	20,6	33,3	57,5
	7	0	0	0	33,3	33,3	48,4
	10	0	0	0	21,4	5,6	27
	média	0	0	0,28	17,52	18,34	39,32
PAINÉIS <i>E. grandis</i>	2	0	0	0	0	2,8	11,5
	5	0	0	0	4	11,1	9,9
	6	0	0	0	3,2	15,3	23,8
	8	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	5,6	15,1	15,3	23,8
	média	0	0	1,12	1,8	8,9	13,8

Tabela 14 - Frequência de descolamento de placas cerâmicas e de trincas no rejunte

4.2.2 Considerações sobre os resultados obtidos

Os resultados do ensaio de impactos de corpo mole revelaram que as duas configurações de painel estudadas suportaram as solicitações sem apresentar falhas graves ou ruína total ou mesmo parcial, permanecendo absolutamente íntegros em sua estrutura.

No que se refere às deformações horizontais instantânea e residual dos painéis, pode-se observar na tabela 13 que estas, ao serem comparadas aos valores limites estabelecidos para cada caso, permite concluir que os painéis de *Eucalyptus grandis*, que possuem ossatura com maior seção transversal das peças de madeira, conseguem um desempenho amplamente satisfatório para compor paredes internas sem função estrutural e praticamente se enquadram abaixo do limite para compor paredes internas com função

estrutural. Por outro lado, os painéis de *Buchenavia sp* apresentaram deformações, tanto instantâneas como residuais, que superam todos os limites, caracterizando um desempenho aquém do desejável para compor paredes internas, tanto com função estrutural como simplesmente de vedação.

Comparando-se as patologias registradas durante a aplicação das diferentes energias de impacto, fica evidenciado um desempenho superior dos painéis de *Eucalyptus grandis*, que apresentaram descolamentos de placas cerâmicas e trincas ao longo do rejunte em número significativamente menor que nos painéis de *Buchenavia sp*. Isto reforça a validade dos resultados de deformações horizontais dos painéis.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os objetivos iniciais do trabalho desenvolvido se relacionaram com a adoção e comprovação de desempenho de soluções técnicas construtivas específicas para a aplicação de elementos cerâmicos em paredes de edificações em madeira. Após efetuada a revisão da bibliografia, levantadas as técnicas específicas praticadas em países com grande tradição de uso da madeira, e trazer à luz as formas mais avançadas de se construir com este material, foram investigados requisitos e critérios de desempenho estrutural que pudessem ser aplicados aos elementos das edificações, como forma de se antever o seu desempenho e avaliar o comportamento quando em uso. Esta metodologia possibilitou a verificação das técnicas mais adequadas ao contexto brasileiro.

Portanto, como delimitação do trabalho, foram estabelecidos objetivos específicos, tendo sido cada um deles tratado durante o desenvolvimento da pesquisa no sentido das conclusões, discutidas na seqüência.

- Avaliar as dificuldades construtivas de fabricação e montagem dos protótipos de parede configurados por ossatura em madeira, substrato pré-fabricado para aplicação de elementos cerâmicos e revestimento final acabado.

Avaliando-se a confecção dos protótipos, ficam evidentes algumas constatações acerca do processo de montagem da ossatura, da fixação das placas cimentícias e do assentamento dos elementos cerâmicos. A usinagem das peças de madeira que compõem a ossatura é facilitada pelo fato de terem todas as peças seção transversal retangular, embora seja necessária a padronização das medidas para que, mais adiante, os painéis possam ser unidos, formando a base da parede. A união das peças é bastante simples e rápida, ainda que feita por pessoal não especializado.

Na seqüência da montagem, foi surpreendente a facilidade e extrema rapidez de fixação das placas na ossatura em madeira dos painéis. Num intervalo de poucos minutos tem-se as superfícies prontas para receber os elementos cerâmicos por meio de argamassa colante, o que de fato seria uma tarefa morosa caso o substrato fosse formado por parede de alvenaria ou estuque.

Outro ponto que mereceu destaque foi a obtenção de superfícies absolutamente planas, isentas de imperfeições ou irregularidades, que facilitaram o assentamento das cerâmicas e propiciaram um bom acabamento final. Por ser o assentamento feito segundo a forma tradicional, com argamassa colante, esta tarefa foi executada sem nenhuma dificuldade.

- Avaliar o comportamento dos protótipos de parede com ossatura em madeira, revestidos com elementos cerâmicos através de uma técnica específica, quando submetidos a metodologia para análise de desempenho estrutural, e comparar duas configurações de protótipos de parede, diferenciadas apenas pela rigidez da trama estrutural de madeira, variando-se as dimensões da seção transversal dos montantes.

A realização prévia de ensaio de arrancamento foi importante para a compreensão da resistência de aderência entre os elementos constituintes do revestimento, pois deste modo pôde-se ao menos suspeitar das origens das patologias verificadas após os impactos mais severos do corpo mole padronizado. O caminho ideal a ser seguido deve ser primeiramente testar diferentes composições de argamassa colante, até chegar a uma condição de boa aderência, e somente então confeccionar os protótipos de parede, o que infelizmente não pôde ser o caminho seguido devido a fatores de ordem econômica e metodológica.

A solicitação de impactos de corpo mole, caindo de diferentes alturas, segundo os critérios adotados, permitiram observar com absoluta clareza a diferença de comportamento das duas configurações de painéis, que apresentavam rigidez diferenciada variando-se as seções transversais das peças de madeira da ossatura, tanto no que diz respeito à comparação das deformações apresentadas, bem como da magnitude das patologias observadas.

Por outro lado, os valores limites de deformação instantânea e residual, que estabelecem os critérios – segundo o tipo e função do elemento – para a comprovação ou não do desempenho estrutural relativo à resistência a impactos de corpo mole, nos parece insuficientemente representativos, uma vez que são fixados de forma generalista, não levando em conta as características peculiares de cada condição, isto é, dos diferentes materiais de construção empregados no elemento estrutural, ou no tipo de revestimento, ou outras condições particulares.

- Analisar a eficiência, praticidade e operacionalidade dos ensaios experimentais utilizados para a análise de desempenho estrutural dos protótipos de parede.

O ensaio de impactos de corpo mole se mostrou bastante eficiente e prático, não havendo nenhuma dificuldade de execução. Apenas a colocação e retirada dos painéis do dispositivo de ensaio concebido representou alguma dificuldade, devido ao peso dos painéis revestidos com elementos cerâmicos. Se fossem ensaiados protótipos maiores, haveria necessidade de conceber uma forma diferenciada de movimentação dos painéis, possivelmente com o auxílio de dispositivos mecânicos.

- Incentivar o uso de madeira proveniente de florestas plantadas, empregando madeira de *Eucalyptus grandis* na confecção de uma parcela dos corpos-de-prova para os ensaios experimentais.

Os painéis compostos por madeira de *Eucalyptus grandis* tiveram um bom desempenho global, apresentando facilidade de usinagem e manuseio das peças. A rigor não há motivos que desencorajem o seu emprego na construção de edificações em madeira, e isto poderia agregar valor a este insumo proveniente de florestas plantadas, que contribui para a sustentabilidade do meio ambiente.

5.1 INDICAÇÕES FUTURAS

A partir dos resultados alcançados e de novos pensamentos que foram surgindo no decorrer da presente pesquisa, apresentamos algumas sugestões para o prosseguimento dos estudos a respeito da adoção de soluções construtivas inovadoras em edificações de madeira:

- As técnicas específicas para aplicação de elementos cerâmicos em edificações de madeira, que foram abordadas neste trabalho, não apresentaram, a rigor, nenhum empecilho técnico que inviabilizasse sua adequação à realidade brasileira. Porém isto não significa que haveria uma boa assimilação por parte dos usuários das edificações, pois há fatores simbólicos envolvidos nesta relação entre produto e consumidor, que tem um caráter essencialmente subjetivo, englobando diversos valores e significados. Pouco se conhece sobre a forma como as pessoas no Brasil percebem a edificação em madeira. Na adoção de soluções construtivas inovadoras, há que se buscar metodologias qualitativas de pesquisa para a comprovação do desempenho simbólico, o que seria de grande interesse para o setor madeireiro de construção.
- É necessário conduzir estudos que levem à formulação de requisitos e critérios de desempenho estrutural particulares para o caso de elementos com base em madeira, para que os resultados alcançados nos ensaios experimentais sejam mais representativos do verdadeiro comportamento do elemento quando em uso, pois os critérios existentes atualmente não contemplam as peculiaridades e as características de cada material.

ANEXOS

Anexo A – Tratamento Estatístico dos Resultados Experimentais

1 – Testes de Normalidade e Análise de Resíduos das Distribuições

Para testar se os resultados experimentais se enquadram numa distribuição normal de valores, utilizamos o teste de Kolmogorov-Smirnov com uma confiabilidade de 5%.

1.1 Ensaio de Arrancamento

- Para o Painel 1:

PAINEL 1					
i	Tensão (MPa)	F acum	Z _i	P(x<x _i)	D _i
1	0,043	0,09	-1,51	0,0655	-0,03
2	0,107	0,18	-1,15	0,1251	-0,06
3	0,156	0,27	-0,87	0,1922	-0,08
4	0,198	0,36	-0,63	0,2643	-0,10
5	0,217	0,45	-0,52	0,3015	-0,15
6	0,356	0,55	0,27	0,6064	0,06
7	0,378	0,64	0,40	0,6554	0,02
8	0,389	0,73	0,46	0,6772	-0,05
9	0,446	0,82	0,79	0,7852	-0,03
10	0,515	0,91	1,18	0,881	-0,03
11	0,585	1,00	1,58	0,9429	-0,06

Para $n = 11$ e $\alpha = 0,05$, tiramos da tabela $D_{\max} = 0,249$.

Como $|D_i| < 0,249 \rightarrow$ a hipótese de normalidade da distribuição não pode ser rejeitada.

- Para o Painel 2:

PAINEL 2					
i	Valor	F acum	Z_i	P(x<x_i)	D_i
1	0,124	0,07	-1,26	0,1038	0,04
2	0,151	0,13	-1,05	0,1469	0,01
3	0,165	0,20	-0,95	0,1711	-0,03
4	0,19	0,27	-0,76	0,2236	-0,04
5	0,214	0,33	-0,58	0,281	-0,05
6	0,25	0,40	-0,31	0,3783	-0,02
7	0,26	0,47	-0,23	0,409	-0,06
8	0,296	0,53	0,04	0,516	-0,02
9	0,296	0,60	0,04	0,516	-0,08
10	0,298	0,67	0,05	0,5199	-0,15
11	0,313	0,73	0,17	0,5675	-0,17
12	0,328	0,80	0,28	0,6103	-0,19
13	0,408	0,87	0,88	0,8106	-0,06
14	0,411	0,93	0,91	0,8186	-0,11
15	0,658	1,00	2,77	0,9972	0,00

Para $n = 15$ e $\alpha = 0,05$, tiramos da tabela $D_{\max} = 0,220$.

Como $|D_i| < 0,220 \rightarrow$ a hipótese de normalidade da distribuição não pode ser rejeitada.

- Para o Painel 3:

PAINEL 3					
i	Valor	F acum	Z_i	P(x<x_i)	D_i
1	0,119	0,07	-1,59	0,0559	-0,02
2	0,209	0,14	-0,96	0,1685	0,03
3	0,214	0,21	-0,92	0,1788	-0,04
4	0,24	0,29	-0,74	0,2296	-0,06
5	0,247	0,36	-0,69	0,2451	-0,11
6	0,26	0,43	-0,60	0,2743	-0,15
7	0,271	0,50	-0,52	0,3015	-0,20
8	0,32	0,57	-0,18	0,4286	-0,14
9	0,439	0,64	0,66	0,7454	0,10
10	0,448	0,71	0,72	0,7642	0,05
11	0,46	0,79	0,81	0,791	0,01
12	0,515	0,86	1,19	0,883	0,03
13	0,534	0,93	1,33	0,9082	-0,02
14	0,558	1,00	1,49	0,9319	-0,07

Para $n = 14$ e $\alpha = 0,05$, tiramos da tabela $D_{\max} = 0,227$.

Como $|D_i| < 0,227 \rightarrow$ a hipótese de normalidade da distribuição não pode ser rejeitada.

Reunindo todos os dados numa única distribuição e fazendo a análise de resíduos (valores espúrios):

i	Valor	F acum	Z _i	P(x<x _i)	D _i	T _{0,05} (40)
1	0,043	0,03	-1,85	0,0322	0,01	
2	0,107	0,05	-1,42	0,0778	0,03	
3	0,119	0,08	-1,33	0,0918	0,02	
4	0,124	0,10	-1,30	0,0968	0,00	
5	0,151	0,13	-1,12	0,1314	0,01	
6	0,156	0,15	-1,08	0,1401	-0,01	
7	0,165	0,18	-1,02	0,1539	-0,02	
8	0,19	0,20	-0,85	0,1977	0,00	
9	0,198	0,23	-0,80	0,2119	-0,01	
10	0,209	0,25	-0,72	0,2358	-0,01	
11	0,214	0,28	-0,69	0,2451	-0,03	
12	0,214	0,30	-0,69	0,2451	-0,05	
13	0,217	0,33	-0,67	0,2514	-0,07	
14	0,24	0,35	-0,51	0,305	-0,05	
15	0,247	0,38	-0,46	0,3228	-0,05	
16	0,25	0,40	-0,44	0,33	-0,07	
17	0,26	0,43	-0,37	0,3557	-0,07	
18	0,26	0,45	-0,37	0,3557	-0,09	
19	0,271	0,48	-0,30	0,3821	-0,09	
20	0,296	0,50	-0,13	0,4483	-0,05	
21	0,296	0,53	-0,13	0,4483	-0,08	2,87
22	0,298	0,55	-0,11	0,4562	-0,09	
23	0,313	0,58	-0,01	0,496	-0,08	
24	0,32	0,60	0,04	0,516	-0,08	
25	0,328	0,63	0,09	0,5359	-0,09	
26	0,356	0,65	0,28	0,6103	-0,04	
27	0,378	0,68	0,43	0,6664	-0,01	
28	0,389	0,70	0,51	0,695	-0,01	
29	0,408	0,73	0,64	0,7389	0,01	
30	0,411	0,75	0,66	0,7454	0,00	
31	0,439	0,78	0,85	0,8023	0,03	
32	0,446	0,80	0,90	0,8159	0,02	
33	0,448	0,83	0,91	0,8186	-0,01	
34	0,46	0,85	0,99	0,8389	-0,01	
35	0,515	0,88	1,37	0,9147	0,04	
36	0,515	0,90	1,37	0,9147	0,01	
37	0,534	0,93	1,50	0,9332	0,01	
38	0,558	0,95	1,66	0,9515	0,00	
39	0,585	0,98	1,84	0,9671	-0,01	
40	0,658	1,00	2,34	0,9904	-0,01	

Para $n = 40$ e $\alpha = 0,05$, tiramos da tabela V: $D_{\max} = 0,140$.

Como $|D_i| < 0,140 \rightarrow$ a hipótese de normalidade da distribuição não pode ser rejeitada.

Para $n = 40$ e $\alpha = 0,05$, tiramos da tabela VIII: $T_\alpha(n) = T_{0,05}(40) = 2,87$.

Como $|Z_i| < 2,87 \rightarrow$ nenhum valor pode ser considerado espúrio.

1.2 Ensaio de Impactos de Corpo Mole

- Para os painéis de *Eucalyptus grandis*:

Eucalyptus grandis - Deslocamento Instantâneo						
i	Valor	F acum	Zi	P(x<xi)	D_i	T_{0,05} (5)
1	8	0,2	-1,34	0,0901	-0,1099	
2	9	0,4	-0,73	0,2327	-0,1673	
3	11	0,6	0,49	0,6879	0,0879	1,67
4	11	0,8	0,49	0,6879	-0,1121	
5	12	1	1,10	0,8643	-0,1357	

Para $n = 5$ e $\alpha = 0,05$, tiramos da tabela V: $D_{\max} = 0,337$.

Como $|D_i| < 0,337 \rightarrow$ a hipótese de normalidade da distribuição não pode ser rejeitada.

Para $n = 5$ e $\alpha = 0,05$, tiramos da tabela VIII: $T_\alpha(n) = T_{0,05}(5) = 1,67$.

Como $|Z_i| < 1,67 \rightarrow$ nenhum valor pode ser considerado espúrio.

Eucalyptus grandis - Deslocamento Residual						
i	Valor	F acum	Z_i	P(x<x_i)	D_i	T_{0,05} (5)
1	0	0,2	-1,23	0,1093	-0,09	
2	1	0,4	-0,35	0,3632	-0,04	
3	1	0,6	-0,35	0,3632	-0,24	1,67
4	2	0,8	0,53	0,7019	-0,10	
5	3	1	1,40	0,9192	-0,08	

Para $n = 5$ e $\alpha = 0,05$, tiramos da tabela V: $D_{\max} = 0,337$.

Como $|D_i| < 0,337 \rightarrow$ a hipótese de normalidade da distribuição não pode ser rejeitada.

Para $n = 5$ e $\alpha = 0,05$, tiramos da tabela VIII: $T_\alpha(n) = T_{0,05}(5) = 1,67$.

Como $|Z_i| < 1,67 \rightarrow$ nenhum valor pode ser considerado espúrio.

- Para os painéis de *Buchenavia sp* (Tanimbuca):

Buchenavia sp - Deslocamento Instantâneo						
i	Valor	F acum	Z_i	P(x<x_i)	D_i	T_{0,05} (5)
1	19	0,2	-1,47	0,0708	-0,1292	
2	24	0,4	-0,29	0,3859	-0,0141	
3	25	0,6	-0,05	0,4801	-0,1199	1,67
4	28	0,8	0,67	0,7486	-0,0514	
5	30	1	1,14	0,8729	-0,1271	

Para $n = 5$ e $\alpha = 0,05$, tiramos da tabela V: $D_{\max} = 0,337$.

Como $|D_i| < 0,337 \rightarrow$ a hipótese de normalidade da distribuição não pode ser rejeitada.

Para $n = 5$ e $\alpha = 0,05$, tiramos da tabela VIII: $T_\alpha(n) = T_{0,05}(5) = 1,67$.

Como $|Z_i| < 1,67 \rightarrow$ nenhum valor pode ser considerado espúrio.

Buchenavia sp - Deslocamento Residual						
i	Valor	F acum	Z _i	P(x<x _i)	D _i	T _{0,05} (5)
1	1	0,2	-0,82	0,2061	0,0061	
2	1	0,4	-0,82	0,2061	-0,1939	
3	2	0,6	0,00	0,5	-0,1	1,67
4	2	0,8	0,00	0,5	-0,3	
5	4	1	1,63	0,9484	-0,0516	

Para $n = 5$ e $\alpha = 0,05$, tiramos da tabela V: $D_{\max} = 0,337$.

Como $|D_i| < 0,337 \rightarrow$ a hipótese de normalidade da distribuição não pode ser rejeitada.

Para $n = 5$ e $\alpha = 0,05$, tiramos da tabela VIII: $T_\alpha(n) = T_{0,05}(5) = 1,67$.

Como $|Z_i| < 1,67 \rightarrow$ nenhum valor pode ser considerado espúrio.

2 – Comparação de Médias e Variâncias

2.1 Ensaio de Impactos de Corpo Mole – Deformações Instantâneas

a) Comparação de Variâncias – distribuição F

- Hipótese a comprovar:

$$H_0 : \sigma_{E. grandis} = \sigma_{Buchenavia sp}$$

$$H_i : \sigma_{E. grandis} \neq \sigma_{Buchenavia sp}$$

- Dados da população:

$$E. grandis: \quad \text{Média} = 10,20$$

$$\text{Desvio-padrão} = 1,64$$

. *Buchenavia sp*: Média = 25,20

Desvio-padrão = 4,21

- $F = S_x^2 / S_y^2 = 6,59$
- Para $\alpha = 0,05$ e $n = 5$ (tabela IV) $\rightarrow F_{0,025}(4;4) = 9,60$
- Como $F > F_\alpha (n_x - 1; n_y - 1)$, a hipótese H_0 é rejeitada, isto é, não podemos afirmar que as variâncias sejam iguais, para uma confiabilidade de 95%.

b) Comparação das Médias

- Hipótese a comprovar:

$$H_0 : \mu_{E. grandis} = \mu_{Buchenavia sp}$$

$$H_i : \mu_{E. grandis} \neq \mu_{Buchenavia sp}$$

.Caso de desvios-padrão da população não conhecidos e variâncias diferentes:

- Modificação da distribuição de Student: $t' = 7,4261$
- Graus de liberdade: $\nu = 2,94 \cong 3$
- Para $\alpha = 0,05$ e $\nu = 3 \rightarrow t_{0,025}(3) = 3,182$ (tabela II)
- Como $t' > t_\alpha(\nu)$, a hipótese H_0 é rejeitada, isto é, não podemos afirmar que as médias sejam iguais, para uma confiabilidade de 95%.

2.2 Ensaio de Impactos de Corpo Mole – Deformações Residuais

a) Comparação de Variâncias – distribuição F

- Hipótese a comprovar:

$$H_0 : \sigma_{E. grandis} = \sigma_{Buchenavia sp}$$

$$H_i : \sigma_{E. grandis} \neq \sigma_{Buchenavia sp}$$

- Dados da população:

$$. E. grandis: \quad \text{Média} = 1,40$$

$$\text{Desvio-padrão} = 1,14$$

$$. Buchenavia sp: \quad \text{Média} = 2,00$$

$$\text{Desvio-padrão} = 1,22$$

- $F = S_x^2 / S_y^2 = 1,15$
- Para $\alpha = 0,05$ e $n = 5$ (tabela IV) $\rightarrow F_{0,025}(4;4) = 9,60$
- Como $F < F_\alpha (n_x - 1; n_y - 1)$, a hipótese H_0 não é rejeitada, isto é, não podemos afirmar que as variâncias sejam diferentes, para uma confiabilidade de 95%.

b) Comparação das Médias

- Hipótese a comprovar:

$$H_0 : \mu_{E. grandis} = \mu_{Buchenavia sp}$$

$$H_i : \mu_{E. grandis} \neq \mu_{Buchenavia sp}$$

.Caso de desvios-padrão da população não conhecidos e variâncias iguais:

- Média ponderada dos desvios-padrão: $S_p^2 = 1,394 \rightarrow S_p = 1,181$
- $t = 0,803$
- Para $\alpha = 0,05$ e $\nu = 3 \rightarrow t_{\alpha/2} (n_x + n_y - 2) = t_{0,025} (8) = 1,86$ (tabela II)
- Como $t < t_{\alpha/2} (n_x + n_y - 2)$, a hipótese H_0 não é rejeitada, isto é, não podemos afirmar que as médias sejam diferentes, para uma confiabilidade de 95%.

2.3 Determinação Expedida do Módulo de Elasticidade à Flexão da Madeira

a) Comparação de Variâncias – distribuição F

- Hipótese a comprovar:

$$H_0 : \sigma_{E. grandis} = \sigma_{Buchenavia sp}$$

$$H_i : \sigma_{E. grandis} \neq \sigma_{Buchenavia sp}$$

- Dados da população:

$$. E. grandis: \quad \text{Média} = 18007 \text{ MPa}$$

$$\text{Desvio-padrão} = 3266 \text{ MPa}$$

$$. Buchenavia sp: \quad \text{Média} = 20273$$

$$\text{Desvio-padrão} = 3728$$

- $F = S_x^2 / S_y^2 = 0,768$
- Para $\alpha = 0,05$ e $n_x = n_y = 8$ (tabela A6.6 – COSTA NETO) $\rightarrow F_{0,025} (7;7) = 4,99$
- Como $F < F_{\alpha} (n_x - 1; n_y - 1)$, a hipótese H_0 não é rejeitada, isto é, não podemos afirmar que as variâncias sejam diferentes, para uma confiabilidade de 95%.

b) Comparação das Médias

- Hipótese a comprovar:

$$H_0 : \mu_{E. grandis} = \mu_{Buchenavia sp}$$

$$H_1 : \mu_{E. grandis} \neq \mu_{Buchenavia sp}$$

.Caso de desvios-padrão da população não conhecidos e variâncias iguais:

- Média ponderada dos desvios-padrão: $S_p^2 = 12282370 \rightarrow S_p = 3505$
- $t = 1,293$
- Para $\alpha = 0,05 \rightarrow t_{\alpha/2} (n_x + n_y - 2) = t_{0,025} (14) = 2,145$ (tabela II)
- Como $t < t_{\alpha/2} (n_x + n_y - 2)$, a hipótese H_0 não é rejeitada, isto é, não podemos afirmar que as médias sejam diferentes, para uma confiabilidade de 95%.

Anexo B – Relação de Empresas Participantes da Pesquisa

USEPLAC Indústria e Comércio Ltda.

- ◆ 10 placas cimentícias de 1,20 x 2,40m, com 10mm de espessura.
- ◆ Parafusos auto-atarrachantes DR8 1255D
- ◆ Fita de reforço de juntas

PORTOBELLO S.A - 31,20 m² de revestimento cerâmico linha Antártida 20x20

PORTOKOLL Ltda.

- ◆ 100 kg de argamassa colante Super Liga
- ◆ litros de aditivo flexível para argamassa colante
- ◆ Rejunte

MADECENTER Casas Pré-fabricadas - painéis de parede com 120cm x 240cm
(madeira de Buchenavia sp)

PALEDSON Ind. e Com de Madeiras Ltda – 1,472 m³ de madeira serrada de
Eucalyptus grandis.

Anexo C – Dados de Caracterização das Madeiras–Módulo de Elasticidade

Procedimento

A determinação do módulo de elasticidade das madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Bucehnavia sp* foi feita através de método expedito de flexão a três pontos adotado por SZÜCS (1991), que consiste na obtenção de dois pontos pertencentes ao trecho linear do diagrama tensão x deformação, permitindo portanto que se consiga uma aproximação do valor do módulo de elasticidade com precisão suficiente para os objetivos deste trabalho.

Basicamente o procedimento prevê dois cavaletes afastados, onde fica apoiada a peça de madeira cujo módulo de elasticidade se deseja determinar. Paralelamente é apoiada uma régua de alumínio, que serve de referência para se medir a deformação no meio do vão sofrida após a aplicação do carregamento. As duas cargas aplicadas, que devem ter valores estudados de modo a não alcançarem o limite de proporcionalidade do material (em função da carga de ruptura), produzirão deformações que deverão ser registradas; a medição foi feita através de régua graduada, com precisão de um milímetro. A tensão de ruptura das duas espécies foi baseada em MAINERI e CHIMELO (1989). A partir destes valores, e com base nos discos de ferro disponíveis para compor a carga a ser aplicada, ficaram estabelecidas as massas de 8,036 kgf e 16,208 kgf a serem aplicadas no meio do vão. As medidas são feitas nos dois lados da peça de madeira, de onde se obtém um valor final correspondente à média aritmética.

Momento máximo - $M = P L / 4$

Momento de inércia - $I = b h^3 / 12$

Resistência dos materiais - $E = (P_2 - P_1) L^3 / 48 \cdot (f_2 - f_1) \cdot I$

NBR 7190 - $E_{\text{característico}} = \text{média aritmética dos valores de } E$

Onde: L – vão

b – largura da seção transversal da tábua

h – altura da seção transversal da tábua

E – módulo de elasticidade

P₁ e P₂ – massas correspondentes a 8,036kgf e 16,208kgf, respectivamente

f₁ e f₂ – deformações no meio do vão após aplicação de P₁ e P₂, respectivamente

I – momento de inércia da seção transversal

a) Madeira de *Buchenavia sp*

CP	lado A					lado B					Valores médios	
	Mo (cm)	M1 (cm)	M2 (cm)	f1 (cm)	f2 (cm)	Mo (cm)	M1 (cm)	M2 (cm)	f1 (cm)	f2 (cm)	f1 (cm)	f2 (cm)
1	74,10	71,95	69,9	2,15	4,20	75,10	72,80	70,70	2,3	4,4	2,225	4,300
2	74,10	71,35	68,45	2,75	5,65	68,00	65,20	63,55	2,8	4,5	2,775	5,050
3	74,45	72,10	70,00	2,35	4,45	68,00	65,45	63,90	2,6	4,1	2,450	4,275
4	74,35	72,40	70,45	1,95	3,90	74,90	72,90	70,95	2,0	4,0	1,975	3,925
5	75,55	73,30	71,00	2,25	4,55	67,80	65,50	64,30	2,3	3,5	2,275	4,025
6	74,90	72,65	70,20	2,25	4,70	68,15	65,30	63,75	2,9	4,4	2,550	4,550
7	91,15	89,15	87,10	2,00	4,05	84,70	82,35	79,95	2,4	4,8	2,175	4,400
8	90,60	88,35	85,45	2,25	5,15	83,65	80,80	77,90	2,9	5,8	2,550	5,450

Tabela 15 – Medidas de deformações verticais das tábuas (*Buchenavia sp*)

L (cm)	b (cm)	h (cm)	P1 (kgf)	σ (Mpa)	f1 (cm)	P2 (kgf)	σ (Mpa)	f2 (cm)	E (MPa)
220	4,611	2,231	8,036	11,55	2,22	16,208	23,30	4,30	20.475
220	4,783	2,265	8,036	10,81	2,78	16,208	21,80	5,05	17.205
220	4,716	2,258	8,036	11,03	2,45	16,208	22,24	4,28	21.955
220	4,610	2,193	8,036	11,96	1,97	16,208	24,12	3,93	22.945
220	4,625	2,170	8,036	12,18	2,28	16,208	24,56	4,03	26.303
220	4,573	2,270	8,036	11,25	2,55	16,208	22,70	4,55	20.334
220	4,587	2,238	8,036	11,54	2,18	16,208	23,28	4,40	19.015
220	4,682	2,256	8,036	11,13	2,55	16,208	22,45	5,45	13.954

Tabela 16 – Cálculo do Módulo de Elasticidade para cada tábua (*Buchenavia sp*)

$$E_{\text{médio}} = 20273 \text{ MPa}$$

b) Madeira de *Eucalyptus grandis*

CP	lado A					lado B					Valores médios	
	Mo	M1	M2	f1	f2	Mo	M1	M2	f1	f2	f1	f2
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	95,75	93,50	91,55	2,25	4,20	82,80	81,25	79,30	1,55	3,50	1,900	3,850
2	94,50	92,05	89,45	2,45	5,05	81,65	78,90	76,10	2,75	5,55	2,600	5,300
3	95,40	93,25	91,05	2,15	4,35	82,20	79,90	77,45	2,30	4,75	2,225	4,550
4	94,15	91,45	88,15	2,70	6,00	83,95	80,95	78,10	3,00	5,85	2,850	5,925
5	96,85	94,60	92,55	2,25	4,30	85,25	83,10	80,95	2,15	4,30	2,200	4,300
6	94,05	91,55	89,15	2,50	4,90	81,35	78,95	76,45	2,40	4,90	2,450	4,900
7	95,50	93,15	90,95	2,35	4,55	82,50	80,35	78,15	2,15	4,35	2,250	4,450
8	95,30	93,40	91,50	1,90	3,80	83,55	81,55	79,75	2,00	3,80	1,950	3,800

Tabela 17 - Medidas de deformações verticais das tábuas (*E. grandis*)

L	b	h	P1	σ	f1	P2	σ	f2	E
(cm)	(cm)	(cm)	(kgf)	(Mpa)	(cm)	(kgf)	(Mpa)	(cm)	(MPa)
200	10,500	1,930	16,669	12,79	1,90	32,698	25,08	3,85	21.779
200	11,040	1,910	16,669	12,42	2,60	32,698	24,36	5,30	15.435
200	10,790	1,910	16,669	12,70	2,23	32,698	24,92	4,55	18.340
200	10,780	1,950	16,669	12,20	2,85	32,698	23,93	5,93	13.043
200	9,800	1,930	16,669	13,70	2,20	32,698	26,87	4,30	21.668
200	10,940	1,930	16,669	12,27	2,45	32,698	24,07	4,90	16.637
200	10,720	2,040	16,669	11,21	2,25	32,698	21,99	4,45	16.011
200	10,560	1,980	16,669	12,08	1,95	32,698	23,69	3,80	21.140

Tabela 18 - Cálculo do Módulo de Elasticidade para cada tábua (*E. grandis*)

$$E_{\text{médio}} = 18007 \text{ MPa}$$

BIBLIOGRAFIA

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Placas cerâmicas para revestimento: determinação da expansão por umidade efetiva**, NBR 10013. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio**, NBR 13818. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – especificação**, NBR 14081. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – determinação da resistência de aderência**, NBR 14084. Rio de Janeiro, 1998.

BITTENCOURT, Rosa Maria (a). **Concepção arquitetônica da habitação em madeira**. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1995.

BITTENCOURT, Rosa Maria (b). **Aprendendo a projetar a edificação em madeira**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 5., Belo Horizonte, 1995. Anais.

BRIDGE, John P.. **Ceramic tile setting**. TAB Books, 1992.

BYRNE, Michael. **Setting tile**. Newtown: The Taunton Press, 1995.

CARASEK, Helena. **Aderência de argamassas à base de cimento portland a substratos porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo de ligação**. Tese de doutoramento. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 1996.

- CONSUMO em alta – oferta em baixa. **Revista da Madeira**. Curitiba, 25 (ano IV): 10-13, 1995.
- DONNELLY, Robert; SUCHEK, V.. Oportunidades de expansão para o setor madeireiro. **Revista da Madeira**. Curitiba, 32 (ano VI): 4-6, 1997.
- ENRIQUE, José; FELIU, C.; AGRAMUNT, J.V.. Metodologia de classificação de placas cerâmicas segundo o uso. **Revista Cerâmica Industrial**. Mai/Jun 1996.
- FERGUSON, Myron R.. **Drywall: professional techniques for walls & ceilings**. Newtown: The Taunton Press, 2ª edição, 1997.
- FREITAS, Amantino Ramos. Eucalipto: tecnologia existente facilita novos usos. **Revista da Madeira**. Curitiba, 17 (ano III):32-33, 1994.
- GILBOA, Felícia et alli. **La vivienda social**. Universidad de la República. Montevideo, 1999. 104p.
- IIDA, Itiro. **Ergonomia – projeto e produção**. São Paulo, 1990. Editora Edgard Blücher Ltda, 465pp.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ceramic tiles- ISO 10545**. Genebra, 1995.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Performance standards in buildings – principles for their preparation and factors to be considered- ISO 6241**. Genebra, 1984.
- MAINERI, Calvino; CHIMELO, João Peres. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo, 1989. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2ª edição. CRM Publicações.
- MÁS, Edgard. A cerâmica vista do balancim. **Revista Técnica**. São Paulo, 40 (ano 8): 16-20, Mai/Jun 1999.
- MEDEIROS, Heloísa. Rumo ao mundo. **Revista Técnica**. São Paulo, 8 (ano 2): 11-16, Jan/Fev 1994.

- MERICO, Luis Fernando Krieger. **Introdução à economia ecológica**. Blumenau, 1996. Editora da FURB, 160pp.
- MIBIELLI, Janete; ROMAN, Humberto. **Influência da cor e do tipo de revestimento na aderência de revestimento cerâmico de fachada**. In: Congresso Técnico-científico de Engenharia Civil. Florianópolis, 21 a 23 de Abril de 1996.
- MITIDIARI FILHO, Cláudio Vicente. **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações – proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural**. São Paulo, 1998. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- OLIVEIRA, Fabiana Lopes (a). **Avaliação do desempenho estrutural de sistemas construtivos inovadores: estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) - EESC-USP, Universidade de São Paulo, 1996.
- OLIVEIRA, Fabiana L.; FRIAS, Flávio; MACHADO JÚNIOR, Eloy (b). **Desempenho estrutural de sistemas inovadores – estudo de caso**. In: Congresso Técnico-científico de Engenharia Civil. Florianópolis, 1996.
- SABBATINI, Fernando H.. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. São Paulo, 1989. 321p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SÁNCHEZ, José Enrique P. et alli. **Casas de madeira**. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho (AITIM). Madrid, 1995. 699p.
- SOARES, Cristina Sernagiotto; VARGAS, Douglas Dias Triana. **Ensaio para certificação de revestimentos cerâmicos segundo normas ISO DIS13006 e ISO DIS10545**. SENAI/ São Paulo e CCB – Centro Cerâmico do Brasil.
- SOUZA, Roberto de; MITIDIARI FILHO, Cláudio V.. **Avaliação de desempenho de sistemas construtivos destinados à habitação popular. Conceituação e metodologia**. In: Tecnologia de edificações. São Paulo, 1988. PINI: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações do IPT. Art. 59, p. 139-142.

SZÜCS, Carlos Alberto. **Étude d'un assemblage pour pièce de coin en b s lamell  coll  renforc  par fibres de verre.** Metz, França, 1991. Laboratoire de Fiabilit  Mécanique. UNIMETZ, 199p.

THALLON, Rob. **Graphic guide to interior details: for builders and designers.** Newtown: The Taunton Press, 3^a edi o, 1997.

THALLON, Rob. **Graphic guide to frame construction: details for builders and designers.** 7^a edi o. Newtown: The Taunton Press, 1998.

TURNER, J.F.C.. **Housing for people.** London: Marion Boyards, 1976.

Obras Consultadas

ALMEIDA, Ana Helena et alli. **Análise do comportamento da argamassa colante em fun o da técnica de aplica o.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Goiânia, Agosto de 1995.

BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL (BRDE). **Programa para implanta o de reflorestamentos de uso múltiplo na região sul do brasil.** Agosto/1995.

BAUER, Roberto. **Descolamento em revestimentos cerâmicos, análises e recomenda es.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Goiânia, Agosto de 1995.

BAYEUX, Pedro. Passaporte da qualidade. **Revista T chne.** São Paulo, 46: 27-30, Mai/Jun 2000.

BENSON, Tedd. **The timber-frame house: design, construction, finishing.** Newtown: The Taunton Press, 2^a edi o, 1997.

COSTA NETO, Pedro Luiz. **Estatística.** Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1977.

- CURRIE, Mark. **Rough framing carpentry**. Craftsman Book Company. Carlsbad, EEUU, 3ª ed., 1998.
- DELLA NOCE, Luis Gustavo. **Parâmetros para projeto e controle da fabricação e montagem em canteiro de painéis de madeira**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 1996.
- Eucalyptus: riqueza inexplorada. **Revista da Madeira**. Curitiba, 22 (ano IV): 23-33, 1995.
- GESTÃO e certificação da floresta sustentável. **Revista da Madeira**. Curitiba, 32 (ano VI): 62-63, 1997.
- JONES, Jack. P.. **House framing**. McGraw-Hill, 1995
- LIMA, Ingrid; ZANINI, Wagner. **Painéis de gesso: paredes e forros**. In: Congresso Técnico-científico de Engenharia Civil. Florianópolis, Abr/1996.
- MATOS, Jorge Luis Monteiro de. O futuro no uso de eucalipto e pinus. **Revista da Madeira**. Curitiba, 27 (ano V): 10-13, 1996.
- NANNI, Luis Fernando. **Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais**. Caderno Técnico no 30. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Julho de 1981, revisado em 1986. Porto Alegre.
- NUNNALLY, S.W.. **Construction: methods and management**. New Jersey: Prentice Hall, Inc., 3a edição, 1993.
- QUALIDADE: por um espaço no mercado competitivo. **Revista da Madeira**. Curitiba, 38 (ano VI): 4-6, 1997.
- SALVENDY, Gavriel. **Handbook of human factors**. New York, 1987. Willey-Interscience Publication, 1874pp.
- SKOUTARIDES, Hélène; DENANCÉ, Marcel. **Construction à ossature bois: conception et mise en œuvre**. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (CTBA). Paris: Éditions Eyrolles, 1995.

SOCIÉTÈ CANADIENNE D'HYPOTHÈQUES ET DE LOGEMENT. **Construction de maison à ossature de bois.** Canada. 1^a edição, 1997.

SOUZA, Maria Helena; MAGLIANO, Mauro Mendonça; CAMARGOS, José Arlete. **Madeiras tropicais brasileiras.** Brasília, 1997. Edição IBAMA-DITEC.

VERDUCH, António García. **Colocación de pavimentos y revestimientos cerámicos.** Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE). Barcelona, España.