

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FELIPE GUSTAVO SANCHES

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE REVESTIMENTO DE  
PAINÉIS COMPENSADOS COM FILME FENÓLICO PARA USO COMO FÔRMAS  
DE CONCRETO

CURITIBA

2012

FELIPE GUSTAVO SANCHES

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE REVESTIMENTO DE  
PAINÉIS COMPENSADOS COM FILME FENÓLICO PARA USO COMO FÔRMAS  
DE CONCRETO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal, Área de Concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Co-orientador: Prof. Dr. Adauto José Miranda de Lima

CURITIBA

2012

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Sanches, Felipe Gustavo

Avaliação dos parâmetros do processo de revestimento de painéis compensados com filme fenólico para uso como fôrmas de concreto/ Felipe Gustavo Sanches. – 2012

125 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Coorientador: Prof. Dr. Adauto José Miranda de Lima

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 02/04/2012.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Compensados de madeira - Testes. 2. Construção civil. 3. Revestimentos. 4. Resinas fenólicas. 5. Teses. I. Iwakiri, Setsuo. II. Lima, Adauto José Miranda de. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD – 674.83

CDU – 634.0.832.282



Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

## PARECER

Defesa nº. 916

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Felipe Gustavo Sanches* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE REVESTIMENTO DE PAINÉIS COMPENSADOS COM FILME FENÓLICO PARA USO COMO FÔRMAS DE CONCRETO**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.

*Dr. Everton Hillig*  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Primeiro examinador

*Dr. José Guilherme Prata*  
Universidade Federal do Paraná  
Segundo examinador

*Dr. Setsuo Iwakiri*  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 02 de abril de 2012.

*Antonio Carlos Batista*  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
*Carlos Roberto Sanquetta*  
Vice-coordenador do curso

"...Desistir?

Eu já até pensei seriamente nisso, mas nunca me levei realmente a sério.

É que tem mais chão nos meus olhos, do que cansaço em minhas pernas.

Mais esperança nos meus passos, do que tristeza nos meus ombros.

Mais estrada no meu coração, do que medo na minha cabeça...."

Ao meu irmão Érico,  
sempre meu exemplo e meu apoio,  
dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que trilha meu caminho e ilumina meus passos.

Aos meus amados pais, Eleny e André pelo amor e carinho em todos os momentos. Sem vocês, nada seria possível.

Ao meu irmão Érico, pelos conselhos e por ser o meu grande exemplo, sua esposa Karla e minha pequena sobrinha Lara.

À minha Annalu, pelo companheirismo, pela paciência e pelo carinho que tem comigo a cada dia, e sua família por todo apoio.

À toda minha família, por estarem sempre ao meu lado, vibrando com as minhas conquistas e me apoiando nos momentos difíceis.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pelas condições para execução deste projeto, e pela possibilidade da realização de meus estudos nesta excelente instituição.

Ao Prof<sup>o</sup>. Dr. Setsuo Iwakiri pela orientação, críticas, sugestões e toda dedicação concedida durante estes meses do mestrado.

Ao Prof<sup>o</sup>. Dr. Aduino José Miranda de Lima, pelos ensinamentos e competente co-orientação neste trabalho e em outros durante minha vida acadêmica.

À Banca Examinadora, pela disponibilidade e paciência para avaliação deste trabalho.

À Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente - ABIMCI, em especial ao Sr. Jeziel Adam de Oliveira por ter possibilitado e incentivado o desenvolvimento deste trabalho. A todos os colegas da ABIMCI pelo espírito colaborativo.

À Formaplan – Formas Planejadas Ltda., pela colaboração com o fornecimento de dados, informações e principalmente pelas chapas de madeira compensada, em especial ao Sr. João Krasniak.

À Industrial Madeireira S/A – Vimasa, em especial ao Sr. Walter Reichert e ao Sr. Anderson Reichardt, pelo auxílio e colaboração com o fornecimento de dados para a realização deste trabalho.

À Coveright Surfaces do Brasil, que foi fundamental para a realização deste trabalho. Em especial ao Sr. Victor Leyton, pela dedicação e esforços realizados para o fornecimento do filme fenólico, e ao Sr. Oberon Santos, pelo total auxílio e ajuda com a realização dos ensaios.

À Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, em especial a Sra. Michelli Silvestre e a Sra. Cinthia Kawe Wu, pelas informações e colaboração dispensada.

A Universidade Federal do Paraná, por ser à base da minha formação profissional e por me receber em mais uma etapa de estudos durante o mestrado, em especial ao Sr. Vitor Herrera do Laboratório de Usinagem da Madeira, ao Prof<sup>o</sup>. Dr. Guilherme Prata pela colaboração com a prensagem dos painéis.

À Prof<sup>a</sup> Msc. Rosilani Trianoski pela prontidão e pela paciência em me ajudar.

Aos amigos mestrandos Marcos Vinícius Cardoso e Daniele Cristina Potulski, e a doutoranda Vanessa Almeida.

A todos os professores do curso, servidos e colaboradores e todos os que participaram diretamente ou indiretamente na elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos Carlos Eduardo Mandai, pela ajuda com o corte das chapas, Henrique P. G. Martins, pela colaboração na realização dos testes de cura e Ricardo A. Esperidião pelo auxílio na correção do trabalho. Aos demais amigos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

A CAPES pela concessão da bolsa Reuni durante a realização deste trabalho.

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência dos principais parâmetros do processo de produção na qualidade dos painéis de compensado plastificado para uso na construção civil. O produto possui altas taxas de crescimento em sua produção e consumo dentro do setor da construção civil como fôrmas de concreto. O plano experimental consistiu em 24 tratamentos diferenciados e os painéis plastificados foram produzidos com gramatura do filme fenólico de 120, 165 e 215 g/m<sup>2</sup>, temperatura de 130°C e 140°C, pressão específica de 16 e 18 kgf/cm<sup>2</sup>, e tempo de prensagem para placagem do tegofilme no compensado de 6 e 8 minutos. A avaliação dos tratamentos foi realizada pela caracterização do filme fenólico de revestimento através de ensaios de inspeção visual, cura, abrasão e absorção de vapor. Os resultados obtidos para todos os ensaios foram satisfatórios conforme os critérios de aceitação do certificado de análise do fabricante. As amostras que utilizaram filme fenólico com maior gramatura obtiveram melhores resultados para o ensaio de abrasão. Os parâmetros de prensagem do filme fenólico não influenciaram significativamente os resultados do ensaio de absorção de vapor. Com base nos parâmetros avaliados recomenda-se o revestimento de painéis com gramatura de filme fenólico de 215 g/m<sup>2</sup>, temperatura de 130 °C, pressão específica de 16 kgf/cm<sup>2</sup> e tempo de prensagem na prensa de 6 minutos.

Palavras chaves: Compensado Plastificado. Filme Fenólico. Fôrmas.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of the main parameters of the production process on the quality of film faced plywood to use in building construction. The product has high growth rates in production and consumption in the construction industry as concrete formwork. The experimental plan consisted of 24 different treatments and film faced plywoods were produced with phenolic film grammage of 120, 165 and 215 g/m<sup>2</sup>, temperature of 130 ° C and 140 ° C, the specific pressure of 16 and 18 kgf/cm<sup>2</sup>, and pressing time for the pressing of the phenolic film of 6 and 8 minutes. Evaluation of treatment was performed for the characterization of phenolic film coating by testing visual inspection, curing, abrasion and steam absorption. The results for all tests have been satisfactory as the criteria for acceptance of a manufacturer's certificate of analysis. Samples used higher phenolic film grammage obtained better results for the abrasion test. Parameters of the pressing phenolic film did not significantly influence the results of the steam absorption test. Based on the assessed parameters, it is suggested that phenolic film faced panels with grammage of 215 g/m<sup>2</sup>, temperature of 130 ° C, specific pressure of 16 kgf/cm<sup>2</sup> and the pressing time of 6 minutes.

Keywords: Film Faced Plywood. Phenolic Film. Shuttering.

## RÉSUMÉ

Cette étude visait à évaluer l'influence des principaux paramètres du processus de production sur la qualité de contreplaqué filmé pour une utilisation dans la construction. Le produit a un taux de croissance élevés dans la production et la consommation au sein de l'industrie de la construction de coffrage de béton. Le plan expérimental se composait de 24 traitements différents et les panneaux filmés produits avec film phénolique de grammage de 120, 165 et 215 g/m<sup>2</sup>, température de 130 ° C et 140 ° C, la pression spécifique de 16 et 18 kgf/cm<sup>2</sup>, et temps pour le pressage du film phénolique sur le contreplade 6 et 8 minutes. Évaluation de traitement a été réalisé pour la caractérisation de film de revêtement phénolique par l'essai d'absorption d'inspection visuelle, de durcissement, l'abrasion et à la vapeur. Les résultats pour tous les tests ont été satisfaisants que les critères d'acceptation d'un certificat de fabricant de l'analyse. Les échantillons utilisés film phénolique de plus grammage obtenu de meilleurs résultats pour l'essai d'abrasion. Les paramètres du film phénolique appuyant n'a pas significativement influencer le résultat de l'absorption d'essai de vapeur. Sur la base des paramètres évalués film de revêtement a recommandé panneaux avec un grammage de 215 g/m<sup>2</sup>, température de 130 ° C, la pression spécifique de 16 kgf/cm<sup>2</sup> et le temps de pressage de 6 minutes.

Mots-clés: Contreplaqué Filmé. Film Phénolique. Coffrage.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EXEMPLOS DE PAINÉIS DE MADEIRA.....	20
FIGURA 2 – ESQUEMA ILUSTRATIVO DA MONTAGEM DE UM COMPENSADO COM 5 LÂMINAS .....	22
FIGURA 3 – FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO DE OBTENÇÃO DE LÂMINAS TORNEADAS DE MADEIRA.....	28
FIGURA 4 – LAMINAÇÃO DE TORA EM TORNO.....	31
FIGURA 5 – SECADOR DE LÂMINAS.....	32
FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DO COMPENSADO .....	34
FIGURA 7 - EXPORTAÇÃO X IMPORTAÇÃO DE COMPENSADOS EM 2008.....	40
FIGURA 8 - EVOLUÇÃO DO PREÇO MÉDIO DE PAINÉIS DE MADEIRA NO MUNDO.....	44
FIGURA 9 - EVOULÇÃO DO PREÇO MÉDIO DE PAINÉIS DE MADEIRA NO BRASIL.....	44
FIGURA 10 - COMPENSADO PLASTIFICADO .....	48
FIGURA 11 - ESQUEMA GENÉRICO DO FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO .....	55
FIGURA 12 - EXEMPLO DE SISTEMA DE FÔRMAS E ELEMENTOS .....	57
FIGURA 13 - EXEMPLO DE MOLDE E ESTRUTURA DE MOLDE DE LAJE E VIGA.....	57
FIGURA 14 - EXEMPLO DE MOLDE E ESTRUTURA DO MOLDE DE PILAR .....	58
FIGURA 15 - EXEMPLO DE ESCORAMENTO DE MADEIRA .....	59
FIGURA 16 - DETALHES DE ACESSÓRIOS .....	59
FIGURA 17 – EXEMPLO DE REFORÇO DAS FÔRMAS .....	62
FIGURA 18 – PORCENTUAL DO CUSTO DA ESTRUTURA DE UM PAVIMENTO .....	64
FIGURA 19 – LINHA DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL MADEIREIRA S/A.....	66
FIGURA 20 – LINHA DE PRODUÇÃO FORMAPLAN – FÔRMAS .....	69
FIGURA 21 – FÔRMAS DE AÇO INOXIDÁVEL PARA PLACAGEM.....	71
FIGURA 22 – PROCESSO DE PRODUÇÃO DO COMPENSADO PLASTIFICADO .....	74
FIGURA 23 - CORPOS-DE-PROVA PARA O ENSAIO DE ABRASÃO .....	75
FIGURA 24 - EXEMPLO DE INSPEÇÃO VISUAL ATRAVÉS DA COLORAÇÃO .....	76
FIGURA 25 – ENSAIO DE CURA DO FILME FENÓLICO .....	77
FIGURA 26 – ENSAIO DE ABRASÃO .....	78

FIGURA 27 – ENSAIO DE ABSORÇÃO DE VAPOR.....	79
FIGURA 28 – RESULTADO PARA CURA DO UNIVERSO AMOSTRAL.....	84
FIGURA 29 – CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS RESPOSTA.....	104

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PREÇO MÉDIO E FATURAMENTO DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA EM 2008.....	21
TABELA 2 - PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA EM 2008 .....	40
TABELA 3 - CONSUMO APARENTE DE PAINÉIS DE MADEIRA EM 2008.....	43
TABELA 4 - PARTICIPAÇÃO DOS ITENS DE CUSTO NA INDÚSTRIA.....	46
TABELA 5 - CARACTERÍSTICAS APROPRIADAS DE SERRAS PARA CORTE DE CHAPAS.....	52
TABELA 6 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	73
TABELA 7 – RESULTADOS DO ENSAIO DE INSPEÇÃO VISUAL .....	81
TABELA 8 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CURA.....	83
TABELA 9 - RESULTADOS DO TESTE DE ABRASÃO .....	86
TABELA 10 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE PRESSÃO:TEMPERATURA	86
TABELA 11 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:TEMPERATURA PARA GRAMATURA DE 120 g/m <sup>2</sup> .....	87
TABELA 12 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:TEMPERATURA PARA GRAMATURA DE 165 g/m <sup>2</sup> .....	88
TABELA 13 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:TEMPERATURA PARA GRAMATURA DE 210 g/m <sup>2</sup> .....	88
TABELA 14 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 130°C E TEMPO DE 6min.....	89
TABELA 15 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 130°C E TEMPO DE 8min.....	89
TABELA 16 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 140°C E TEMPO DE 6min.....	89
TABELA 17 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 140°C E TEMPO DE 8min.....	90
TABELA 18 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:PRESSÃO PARA GRAMATURA DE 120 g/m <sup>2</sup> .....	90
TABELA 19 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:PRESSÃO PARA GRAMATURA DE 165 g/m <sup>2</sup> .....	91
TABELA 20 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:PRESSÃO PARA GRAMATURA DE 210 g/m <sup>2</sup> .....	91

TABELA 21 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA PRESSÃO DE 16 kgf/cm <sup>2</sup> E TEMPO DE 6min.....	92
TABELA 22 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA PRESSÃO DE 16 kgf/cm <sup>2</sup> E TEMPO DE 8min.....	92
TABELA 23 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA PRESSÃO DE 18 kgf/cm <sup>2</sup> E TEMPO DE 6min.....	93
TABELA 24 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA PRESSÃO DE 18 kgf/cm <sup>2</sup> E TEMPO DE 8min.....	93
TABELA 25 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:PRESSÃO PARA TEMPERATURA DE 130°C .....	94
TABELA 26 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:PRESSÃO PARA TEMPERATURA DE 140°C .....	94
TABELA 27 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 16 kgf/cm <sup>2</sup> E TEMPO DE 6min.....	95
TABELA 28 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 16 kgf/cm <sup>2</sup> E TEMPO DE 8min.....	95
TABELA 29 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 18 kgf/cm <sup>2</sup> E TEMPO DE 6min.....	95
TABELA 30 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 18 kgf/cm <sup>2</sup> E TEMPO DE 8min.....	95
TABELA 31 - RESULTADOS DO TESTE DE ABSORÇÃO DE VAPOR EM 1 HORA	96
TABELA 32 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:PRESSÃO PARA TEMPERATURA DE 130°C .....	97
TABELA 33 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:PRESSÃO PARA TEMPERATURA DE 140°C .....	97
TABELA 34 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 16 kgf/cm <sup>2</sup> E TEMPO DE 6min .....	98
TABELA 35 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 16 kgf/cm <sup>2</sup> E TEMPO DE 8min .....	98
TABELA 36 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 18 kgf/cm <sup>2</sup> E TEMPO DE 6min .....	98
TABELA 37 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 18 kgf/cm <sup>2</sup> E TEMPO DE 8min .....	98
TABELA 38 - RESULTADOS DO TESTE DE ABSORÇÃO DE VAPOR EM 2 HORAS	99

TABELA 39 - COMPARAÇÕES ENTRE AS MÉDIAS PARA A VARIÁVEL PRESSÃO	100
TABELA 40 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:TEMPERATURA PARA GRAMATURA DE 120 g/m <sup>2</sup> .....	101
TABELA 41 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:TEMPERATURA PARA GRAMATURA DE 165 g/m <sup>2</sup> .....	101
TABELA 42 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:TEMPERATURA PARA GRAMATURA DE 210 g/m <sup>2</sup> .....	101
TABELA 43 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 130°C E TEMPO DE 6min.....	102
TABELA 44 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 130°C E TEMPO DE 8min.....	102
TABELA 45 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 140°C E TEMPO DE 6min.....	102
TABELA 46 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 140°C E TEMPO DE 8min.....	103
TABELA 47 - TEOR DE UMIDADE DO PNQM PARA SECAGEM DE LÂMINAS...	118
TABELA 48 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA RESINA.....	118
TABELA 49 - PARÂMETROS DO PNQM PARA RECEBIMENTO DE FIOS PARA JUNTAGEM.....	120
TABELA 50 - PARÂMETROS DO PNQM PARA PREPARAÇÃO DE COLA .....	120
TABELA 51 - PARÂMETROS DO PNQM PARA APLICAÇÃO DE COLA.....	120
TABELA 52 - PARÂMETROS DO PNQM PARA MONTAGEM DE COMPENSADOS	121
TABELA 53 - PARÂMETROS DO PNQM PARA ASSEMBLAGEM COM COLA URÉICA.....	122
TABELA 54 - PARÂMETROS DO PNQM PARA PRENSAGEM.....	122
TABELA 55 - PARÂMETRO PARA O PAPEL UTILIZADO .....	124

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland  
ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ABIPA – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira  
ACI – *American Concrete Institute*  
ANOVA – Análise de Variância  
ASTM – *American Society for Testing and Materials*  
BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social  
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  
CEHOP – Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas  
EN – *European Norm*  
FAO – *Food and Agriculture Organization*  
FF – Fenol-formaldeído  
HDF – *High Density Fiberboard*  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia  
LVL – *Laminated Veneer Lumber*  
MDF – *Medium Density Fiberboard*  
MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior  
MDP – *Medium Density Particleboard*  
NBR – Norma Brasileira  
OSB – *Oriented Strand Board*  
PIA – Pesquisa Industrial Anual  
PMVA – Produto de Maior Valor Agregado  
PNQM – Programa Nacional de Qualidade da Madeira  
SDF – *Super Density Fiberboard*  
SECEX – Serviço de Comércio Exterior  
UF – Ureia-formaldeído

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
1.1	OBJETIVOS .....	16
1.1.1	Objetivo Geral .....	16
1.1.2	Objetivos Específicos.....	16
1.2	JUSTIFICATIVA.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	PAINÉIS DE MADEIRA .....	18
2.2	PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA.....	22
2.2.1	Caracterização técnica.....	23
2.2.2	Classificação.....	25
2.2.3	Fabricação .....	27
2.2.4	Oferta e demanda .....	39
2.2.5	Preço.....	41
2.2.6	Compensado de Pinus.....	45
2.3	COMPENSADO PLASTIFICADO.....	47
2.3.1	Caracterização Técnica .....	48
2.3.2	Fabricação .....	50
2.3.3	Utilização em fôrmas de concreto.....	51
2.3.4	Desmoldantes para compensados.....	54
2.4	FÔRMAS PARA CONCRETO .....	54
2.4.1	Sistema de fôrmas .....	56
2.4.2	Fôrmas de madeira .....	59
2.4.3	Fôrmas de madeira compensada.....	61
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	65
3.1	ESTUDO PRELIMINAR .....	65
3.2	PLANO DE TRABALHO .....	70
3.3	MANUFATURA DO COMPENSADO PLASTIFICADO.....	71
3.3.1	Preparação das placas para revestimento.....	72
3.3.2	Delineamento Experimental.....	72
3.3.3	Colagem do filme fenólico.....	72
3.4	ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO REVESTIMENTO.....	75
3.4.1	Inspeção Visual.....	75

3.4.2	Cura .....	76
3.4.3	Abrasão.....	77
3.4.4	Absorção de vapor.....	79
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	80
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	81
4.1	INSPEÇÃO VISUAL .....	81
4.2	CURA .....	83
4.3	ABRASÃO .....	85
4.3.1	Análise da interação temperatura:pressão.....	86
4.3.2	Análise da interação gramatura:temperatura:tempo .....	87
4.3.3	Análise da interação gramatura:pressão:tempo.....	90
4.3.4	Análise da interação temperatura:pressão:tempo.....	93
4.4	ABSORÇÃO DE VAPOR EM 1 HORA .....	96
4.4.1	Análise da interação temperatura:pressão:tempo.....	97
4.5	ABSORÇÃO DE VAPOR EM 2 HORAS.....	99
4.5.1	Análise do efeito da Pressão.....	100
4.5.2	Análise da interação gramatura:temperatura:tempo .....	100
4.6	CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS RESPOSTA .....	103
5	CONCLUSÕES .....	105
6	RECOMENDAÇÕES.....	106
	REFERÊNCIAS.....	107
	ANEXO A .....	117

## 1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro, dividido em dois grandes grupos de produtos: Não madeireiros – tais como frutas, óleos, resinas, bambu, entre outros –, e os Madeireiros – abrangendo os produtos de madeira processada mecanicamente, celulose e papel, painéis reconstituídos dentre outros – tem papel importante dentro da economia nacional, pois segundo dados do SECEX/MDIC e PIA/IBGE citados por ABIMCI (2009) para o ano de 2008, o setor proporcionou, aproximadamente, 221.178 empregos, em 15.420 empresas, gerando cerca de R\$ 2 bilhões em salários, além de US\$ 3,2 bilhões nas exportações.

Tais dados ilustram a relevância do setor dentro do contexto nacional, ainda que durante os últimos anos, tenham ocorrido inúmeros fatores que afetam o desempenho do mesmo, tais como: (i) variação cambial, (ii) redução da demanda de madeira internacional, principalmente americana, (iii) aumentos nos custos de produção, reflexo de elevações dos preços de matéria-prima, insumos, serviços e mão-de-obra.

De acordo com o Estudo Setorial de 2008, da ABIMCI, para fazer frente a estes fatores, o setor, diferentemente de outros períodos passados, tem buscado novas soluções, como: (i) diversificação de mercados, (ii) ganhos de escala e controle sobre o suprimento de matéria-prima, (iii) produtos diferenciados (evitando commodities), (iv) aumento dos níveis de produtividade, (v) melhoria da eficiência (floresta – indústria – mercado), e (vi) programas de certificação de qualidade, como por exemplo PNQM (Programa Nacional de Qualidade da Madeira) e PSQ-PIM (Programa Setorial da Qualidade de Portas Internas de Madeira).

Dentre os aspectos supracitados, a ideia de produzir um produto diferenciado, surgiu como ótima solução para algumas empresas do setor, que desenvolveram seu sistema de produção, e conseguiram agregar valor ao seu produto. Com a indústria de madeira processada mecanicamente não foi diferente, pois muitos estão utilizando a fabricação de produtos com maior valor agregado (PMVA) como solução e escape para as dificuldades geradas pela crise econômica. Diversas empresas, que tinham o compensado como principal produto, adequaram seu processo de fabricação para produzir diferentes tipos de compensado, como o

compensado plastificado, compensado resinado, compensado naval, entre outros, entrando e atendendo diferentes mercados e agregando valor ao seu produto.

O compensado plastificado ganhou mercado dentro do setor de transportes, servindo como assoalhos para caminhões e ônibus, além do crescente uso na construção civil, destacando-se devido às características da qualidade de acabamento que proporciona para as formas de concreto, sua capacidade de resistir a ambiente com presença de umidade, e principalmente, sua possibilidade de maior reutilização que conseqüentemente reduz os custos das obras.

Contudo, com o crescimento da produção e consumo deste produto, surge também à necessidade de disponibilizar ao mercado produtos com especificações conhecidas, sendo definidas características a serem verificadas e critérios de aceitação para os clientes, em geral construtoras, incorporadoras e empreiteiras.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar parâmetros de fabricação das chapas de madeira compensada impregnadas com revestimento tegofilme, em relação às características de qualidade exigidas em seu uso na construção civil, como fôrmas para concreto.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência da gramatura do filme fenólico, da pressão específica, da temperatura e do tempo de prensagem da placagem do filme fenólico na qualidade do compensado plastificado.
- Estabelecer a comparação dos resultados obtidos através dos ensaios realizados nesta pesquisa com os ensaios realizados por empresas do setor.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A realização deste trabalho foi motivada pela atual situação do setor de madeira processada mecanicamente, que devido aos efeitos da crise econômica do final de 2008, passou por readequação do destino de seus produtos que antes eram vendidos para o exterior, e que devido à oportunidade proporcionada pelo atual contexto socioeconômico nacional, começaram a ser vendidas para o mercado brasileiro.

Além disso, estima-se que o déficit habitacional no Brasil atinja o valor de 10 milhões de residências, e para suprir esta demanda o governo federal tem incentivado e financiado a construção de novas moradias através de programas como o “Minha Casa, Minha Vida”. Esta atitude, aliada com eventos esportivos internacionais a partir do ano de 2013, tem incentivado e desenvolvido a construção civil no Brasil.

O seguimento da Construção Civil no Brasil tem parcela representativa no PIB nacional, que segundo dados da CEHOP (2007), atingem aproximadamente 5% do total do PIB. Além disso, a construção civil trabalha como uma mola propulsora de diversos outros setores, entre eles, o setor florestal, mais especificadamente, o da madeira processada mecanicamente, visto que grande parte do que é produzido por este segmento é destinado à construção civil, como fôrmas para concreto, tapumes, bandejões, partes estruturais, entre outras.

A representatividade e da importância das fôrmas em uma obra é bastante elevada, atingindo até 6 % do total do orçamento de uma construção (CEHOP, 2007). Por isso existe a necessidade do reaproveitamento das fôrmas. Dentro deste contexto o presente trabalho vislumbra estudar os parâmetros de fabricação do compensado plastificado que são utilizados como fôrmas de concreto, suas características de qualidade proporcionada através destes parâmetros, entre outras propriedades.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PAINÉIS DE MADEIRA

Para Biazus et al. (2010) o setor de painéis de madeira brasileiro apresenta grande dinamismo, reflexo da competitividade do setor florestal brasileiro e da qualidade e da ampla aceitação do produto nacional no mercado doméstico. Nesse contexto, o apoio financeiro do BNDES na implantação, na modernização e no aumento de escala, bem como nos plantios florestais, vem se mostrando importante, o que aumenta a relevância do bom entendimento acerca dos mecanismos que movem o setor.

De acordo com ABIMCI (2003) a indústria de painéis de madeira é de relevante importância para a economia brasileira, não só pela geração de empregos, como também pelo dinamismo que irradia, especialmente para os setores moveleiro e de construção civil.

Para a ABIPA (2011) O setor de produtos florestais compreende, genericamente, os segmentos de madeira em tora, madeira serrada, painéis de madeira, pasta de madeira e papel. A partir desses insumos formam-se várias cadeias produtivas, destacando-se que, no caso dos setores de construção civil e moveleiro, os produtos de madeira serrada e os tipos de painéis de madeira são bens substitutos entre si.

Segundo Iwakiri (2005), a partir dos diversos elementos de madeira, com formas e dimensões variadas, podem-se gerar novos produtos de madeira através da sua reconstituição, utilizando métodos e processos adequados para cada tipo de produto e finalidade de uso. Os painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida, e reconstituídos através de ligação adesiva.

Essa definição é reforçada de acordo com a visão do BNDES (2008), que descreve os painéis como estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são aglutinadas pela ação de pressão e temperatura, com uso de resinas em alguns casos. Esse tipo de produto substitui a madeira maciça em diferentes usos, como na fabricação de móveis e pisos. Os

painéis surgiram, principalmente, para atender a uma necessidade gerada pela escassez e pelo encarecimento da madeira maciça.

Ainda de acordo com Iwakiri (2005), desde o início da produção de painéis compensados no final do século XIX, inúmeros tipos de painéis de madeira foram surgindo até o momento, sempre com a preocupação de buscar novos produtos com melhor relação custo/ benefício, para aplicações específicas a que se destinam.

Os painéis de madeira são compostos fabricados com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação que, aglutinadas pela ação de pressão, de temperatura e da utilização de resinas, são novamente agregadas visando à manufatura. A principal vantagem desse tipo de produto e a aplicação como substituto da escassa e encarecida madeira maciça em diferentes usos, como na fabricação de moveis, portas, pisos e rodapés (BIAZUS et al., 2009).

Segundo Biazus et al. (2009), Os painéis de madeira podem ser divididos em dois tipos: os painéis de madeira reconstituída e os painéis de madeira processada mecanicamente. Os painéis de madeira reconstituída (FIGURA 1) passaram a ter seu consumo largamente incrementado no Brasil a partir da década de 1990 e são fabricados com base no processamento da madeira, que passa por diferentes processos de desagregação. Os principais tipos de painéis de madeira reconstituída são o medium density particleboard (MDP), o medium density fiberboard (MDF) e correlatos como o high density fiberboard (HDF) e o super density fiberboard (SDF) e as chapas de fibra. Na outra vertente, os painéis de madeira processada mecanicamente (FIGURA 1) são formados por camadas de laminas ou sarrafos de madeira maciça e representados principalmente pelos compensados, cuja utilização segue a aplicação dos demais materiais, servindo tanto a indústria de moveis quanto a construção civil. No Brasil, essa indústria utiliza madeira no processo produtivo tanto de florestas plantadas (sobretudo de pinus e situadas na Região Sul) quanto de florestas nativas (principalmente na Região Norte).

Conforme dados do BNDES (2008), a indústria de painéis de madeira caracteriza-se por ter baixas barreiras à entrada, dado que os valores de investimento são relativamente baixos para os padrões de uma indústria intensiva em capital. Da mesma forma, não existem patentes que limitem a utilização de tecnologias de fabricação por um novo entrante, uma vez que o componente

tecnológico se encontra nas máquinas e equipamentos necessários ao processo produtivo.



FIGURA 1 – EXEMPLOS DE PAINÉIS DE MADEIRA  
FONTE: O autor (2012)

Entretanto, a madeira, principal matéria-prima, constitui um diferencial de competitividade e potencial barreira à entrada. A indisponibilidade de terras e a subutilização de tecnologia de ponta no segmento florestal diminuem a competitividade das empresas, seja pelo elevado valor da terra, pela baixa produtividade da árvore ou pela dificuldade logística de suprimento e fornecimento de matéria-prima, podendo inviabilizar estrategicamente um projeto. Uma parte importante das empresas no país estrutura seu negócio com base na integração da cadeia, buscando formar sua base florestal num raio médio não superior a 150 km da unidade industrial, geralmente situada nas proximidades do mercado consumidor.

Nesse sentido, embora as especificidades de cada projeto devam ser levadas em consideração, a percepção é de que a proximidade da unidade industrial em relação a sua base florestal é mais relevante a competitividade do que a proximidade do mercado consumidor, por causa da maior sensibilidade dos produtos de menor valor agregado (nesse caso, a madeira) ao custo de frete. Não menos importante, é comum nos projetos à propriedade de viveiros e laboratórios, em que

se possibilitam a autossuficiência de mudas para o replantio e a adaptação de características genéticas as condições locais (BIAZUS et al., 2010).

A estrutura produtiva da indústria de painéis de madeira reconstituída é concentrada e a sua capacidade instalada esta dividida entre seis empresas principais. A maior delas é a Duratex, com cerca de 44% da capacidade nominal instalada no Brasil em 2008 (BNDES, 2010).

Por sua vez, a indústria de painéis de madeira processada mecanicamente é bastante pulverizada. O segmento de compensados é formado por grande número de empresas, divididas em dois grupos: (i) Região Norte, com especialização na fabricação de compensados de madeira tropical de florestas nativas; e (ii) Região Sul, com utilização de madeira de florestas plantadas, principalmente de pinus (BNDES, 2008).

Segundo Biazus et al. (2010), a indústria mundial de painéis de madeira apresentou faturamento em 2008 de cerca de US\$ 98,3 bilhões (TABELA 1), sendo US\$ 57,9 bilhões representados pelos painéis de madeira reconstituída e US\$ 40,3 bilhões pelos painéis de madeira processada mecanicamente. O comercio mundial atingiu cerca de um terço da produção mundial, com destaque para a Europa, líder tanto nas exportações quanto nas importações.

TABELA 1 – PREÇO MÉDIO E FATURAMENTO DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA EM 2008.

Preço/ faturamento	Painéis de madeira				Total
	Reconstituída			Processada mecanicamente	
	MDP	MDF	Chapa dura	Compensado	
<b>Preço médio (US\$/m<sup>3</sup>)</b>	303,1	360	680,9	521,6	<b>466,4</b>
<b>Faturamento (US\$ bilhões)</b>	31,4	20,6	5,9	40,3	<b>98,3</b>

FONTE: BNDES (2009)

## 2.2 PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA

Segundo Iwakiri (2005), o compensado é um painel fabricado através da colagem de lâminas em número ímpar de camadas, com a direção da grã perpendicular entre as camadas adjacentes (FIGURA 2).

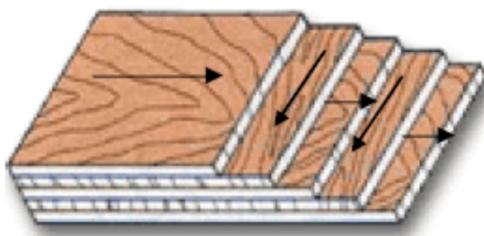


FIGURA 2 – ESQUEMA ILUSTRATIVO DA MONTAGEM DE UM COMPENSADO COM 5 LÂMINAS  
FONTE: PRATA (2006)

A madeira compensada é um painel constituído por lâminas unidas sob pressão através de ligação por um adesivo. O compensado pode ser fabricado de madeira macia (softwood) ou madeira dura (hardwood). É constituído sempre com um número ímpar de lâminas em direções perpendiculares. O posicionamento cruzado das lâminas dispõe ao compensado uma excelente resistência mecânica. As lâminas podem variar no número, na espessura, na espécie e na classe de madeira (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999 por PRATA, 2006).

Segundo Morikawa (2003), a madeira extraída de toras das árvores é limitada quanto às dimensões, principalmente na largura das peças obtidas. No mercado, as peças mais largas que se encontram facilmente são as tábuas de 30 cm de largura. Essa dimensão impõe uma restrição quanto à montagem de painéis de fôrmas.

Registros indicam que a introdução do compensado no Brasil ocorreu por volta de 1928 no estado de São Paulo, tendo o início de sua produção no Paraná em 1945 (PALMA, 1997).

A ampla utilização do compensado se justifica por suas características mecânicas e sua adaptação a uma gama de usos, como a construção civil e a indústria moveleira (TOMASELI, 1999).

### 2.2.1 Caracterização técnica

De acordo com Morikawa (2003), o consumo cada vez maior de materiais de construção, e as crescentes dificuldades para obtenção de madeira maciça, com dimensões e qualidade adequadas às diversas necessidades, juntamente com a explosão na tecnologia de fabricação ocorrida pouco antes da metade do século XX, conduziram ao desenvolvimento da indústria de produtos derivados de madeira. Dentre esses produtos, os laminados constituem-se uma considerável porção. São obtidos através de associação de lâminas de madeira, em forma original ou modificadas: coladas com adesivos ou ligadas mecanicamente, como pregos e parafusos. Dependendo da disposição das lâminas, esses laminados podem ser classificados como paralelos ou transversais.

De acordo com March (1944); Bodig & Goodman (1973); McLain & Bodig (1974); Bodig & Jayne (1982) e Booth (1990), para efeito de análise, o compensado pode ser considerado como um material ortotrópico, ou seja, com simetria elástica em relação a três planos mutuamente perpendiculares e caracterizados por propriedades direcionais.

De acordo com Olin (1990), com o posicionamento alternado de lâminas formando ângulo reto em relação às fibras, o compensado utiliza a resistência e a estabilidade dimensional natural da madeira na direção das fibras, proporcionando ao material maior resistência ao fendilhamento, melhor estabilidade dimensional, resistência ao empenamento entre outras propriedades.

A madeira compensada é colada e composta por lâminas, de espessura final entre 1,5 e 3,0 cm, podendo chegar a 5 cm. Na atualidade, estão sendo produzidas lâminas de menor espessura, conhecidas como micro laminados. É o mais utilizado em aplicações estruturais. As lâminas adjacentes, com espessuras entre 1 e 5 mm, são orientadas com direções de fibras, formando diferentes ângulos, em função das características desejadas para a chapa final (MORIWAKA, 2003).

O adesivo de origem sintética tem a função de ligar as lâminas. Segundo Bodig e Jayne (1982), o volume de adesivo utilizado no compensado é quase sempre inferior a 1% do volume total do composto. Deve-se enfatizar a importância da qualidade do adesivo, que é fundamental para as características de resistência e elasticidade da chapa.

As chapas devem ser estruturalmente balanceadas, devendo ser simétricas em relação ao seu plano central. As lâminas de cada lado deste plano, equidistantes do mesmo, devem ter as mesmas propriedades físicas, mesma espessura e orientação de fibras. O plano de simetria na lâmina do núcleo implica na existência de um número ímpar de lâminas. Na fabricação das chapas compensadas, este balanceamento deve ser rigoroso, para garantir que estas permaneçam planas quando sujeitas a condições de temperatura e umidade diferentes daquelas de fabricação. Outros tipos de chapas balanceadas podem ser obtidos, utilizando lâminas de diferentes espécies de madeira, mas os riscos de empenamento são bem maiores. A opção de fabricar os compensados com número par de lâminas, embora não viole as condições de balanceamento do mesmo, devido à colocação de duas lâminas centrais com mesma orientação de fibras, não tem sido bem aceita comercialmente, visto que o ganho na eficiência do produto não corresponde ao custo adicional de uma lâmina e adesivo (IWAKIRI, 2005).

De acordo com Baldwin (1995) e Sellers (1985), a espécie de madeira utilizada na produção de um painel compensado responderá pelas características e propriedades tecnológicas do produto final, interferindo nas propriedades de colagem, estabilidade dimensional e resistência mecânica.

A influência do uso de diferentes espécies de madeira na produção de painéis compensados multilaminados está relacionada a dois fatores principais. O primeiro se refere às características anatômicas, físicas e químicas da madeira que influenciam nas propriedades de colagem de lâminas. O segundo fator está relacionado com a influência da ligação adesiva e as propriedades da madeira utilizada sobre a resistência mecânica dos painéis produzidos (MARRA, 1992; TSOUKIS, 1991).

Segundo Marra (1992), a influência da estrutura anatômica da madeira na colagem de lâminas está diretamente associada à sua porosidade e permeabilidade à penetração do adesivo líquido na estrutura da madeira e, conseqüentemente, à formação da ligação adesiva entre as duas faces da madeira. A relação direta entre a densidade da madeira e sua porosidade é utilizada como base para o controle dos parâmetros de colagem de madeiras de diferentes espécies e densidades. Quanto às propriedades químicas, o fator mais importante na colagem está relacionado aos extrativos presentes na madeira. Sellers (1985) afirma que a colagem de lâminas de

determinadas espécies pode ser prejudicada em função da alta concentração de certos tipos de extrativos na superfície das lâminas, devido à sua migração através de camadas internas durante o processo de secagem. O resultado desse fenômeno é descrito como superfície “contaminada” ou “inativa”, prejudicando a formação da ligação adesiva entre as lâminas.

Por outro lado, a densidade da madeira tem também uma relação direta com a resistência mecânica de painéis compensados. Painéis estruturais com alta resistência só podem ser construídos com madeiras de maior densidade e, portanto, de maior resistência mecânica. Na composição de compensados, lâminas de maior densidade podem ser destinadas às capas e contracapas, por serem estas as áreas submetidas a maiores tensões de tração e compressão (BODIG e JAYNE, 1982).

### 2.2.2 Classificação

De acordo com a norma NBR3 – INMETRO, citado por IWAKIRI (2005), os painéis de compensados produzidos no Brasil podem ser classificados em:

- Compensado de uso geral

São painéis de madeira compensada, multilaminada, cujo adesivo empregado na sua fabricação se restringe ao uso interno. Este tipo de compensado tem grande aplicação na indústria moveleira.

- Forma de concreto

São painéis de madeira compensada, multilaminada, e cuja colagem é a prova d'água, admitindo-se o uso exterior. Este produto é largamente empregado na construção civil.

- Compensado decorativo

São painéis que recebem, nas suas superfícies, lâminas de madeira faqueada, consideradas como “decorativas”, e a colagem deve ser do tipo intermediária, ou seja, pode ser utilizado em locais com alta umidade relativa, e eventualmente, entrar em contato com a água. O uso final deste produto direciona-se, principalmente, na fabricação de móveis.

- Compensado industrial

São painéis que apresentam menor restrição em termos de aparência e o adesivo utilizado deve ser do tipo a prova d'água. A sua utilização é muito ampla, destacando-se as embalagens.

- Compensado naval

São painéis classificados genericamente como de uso exterior, portanto de colagem a prova d'água, com alta resistência mecânica e montagem perfeita. Destina-se normalmente ao uso em aplicações que exigem contato direto com a água, como por exemplo, a construção naval.

- Compensado sarrafeado

São painéis cujo miolo é formado por sarrafos. O adesivo utilizado na sua produção é do tipo interior. A aplicação restringe-se basicamente à indústria moveleira.

Existem, além dos supracitados, compensados produzidos para condições específicas, tais como:

- Compensado resinado

São painéis com aplicação de resina resistente à água na superfície.

- Compensado plastificado

São painéis com aplicação de filme sintético na superfície. Um material muito utilizado para o revestimento superficial é o "tegofilme", o qual é fabricado com celulose impregnado com a resina fenol-formaldeído.

Os painéis de madeira compensada são produzidos principalmente com as dimensões (largura x comprimento) de 1220 x 2400 mm e 1600 x 2200 mm.

### 2.2.3 Fabricação

O processo de fabricação do compensado tradicional, conforme descrito pela ABIMCI (2004), pode ser dividido em duas etapas principais: processo de produção de lâminas e processo de produção do compensado.

Em 1999, atendendo solicitação de suas empresas associadas e em resposta a demandas de mercado a ABIMCI decidiu tomar a liderança para desenvolver um sistema nacional de certificação do compensado. Para desenvolver o sistema foi criado o Programa Nacional de Qualidade da Madeira – PNQM (ABIMCI, 2008).

O PNQM - Programa Nacional de Qualidade da Madeira é uma certificação que visa o controle do processo produtivo, desde o recebimento da matéria-prima (toras e lâminas) até a embalagem do produto final, sendo definidos parâmetros a serem verificados e critérios de aceitação. O objetivo deste controle é disponibilizar ao mercado produtos com especificações conhecidas, fabricados dentro de parâmetros controlados (ABIMCI, 2008).

No Anexo A deste trabalho encontram-se os parâmetros e tolerâncias para as etapas produtivas do compensado.

#### 2.2.3.1 Processo de produção de lâminas

O que se usa na atualidade para produção de lâminas são tornos e faqueadeiras. As faqueadeiras são utilizadas em 5% do total de lâminas produzidos no país, sendo o produto final utilizado para revestimento de superfícies de painéis de madeira (compensados, aglomerados ou MDF) ou até paredes. As lâminas torneadas representam 95% da produção total nacional. É utilizada particularmente na fabricação de compensados. Devido aos diversos usos das lâminas de madeira, este boletim traz uma descrição esquemática do fluxo de produção das mesmas. (ABIMCI, 2008)

O fluxo básico do processo industrial de fabricação de lâmina torneada é mostrado na FIGURA 3 e inclui as seguintes etapas: (1) exploração e transporte de toras, (2) cozimento das toras, (3) laminação, (4) guilhotinagem de lâminas verdes, (5) secagem e (6) guilhotinagem de lâminas secas. Já a produção de lâminas

faqueadas inclui as etapas a seguir: exploração e transporte de toras, preparação dos blocos, cozimento dos blocos, laminação, secagem e guilhotinagem de lâminas secas. Como o processo utilizando torno é substancialmente mais utilizado, serão descritos mais detalhadamente.

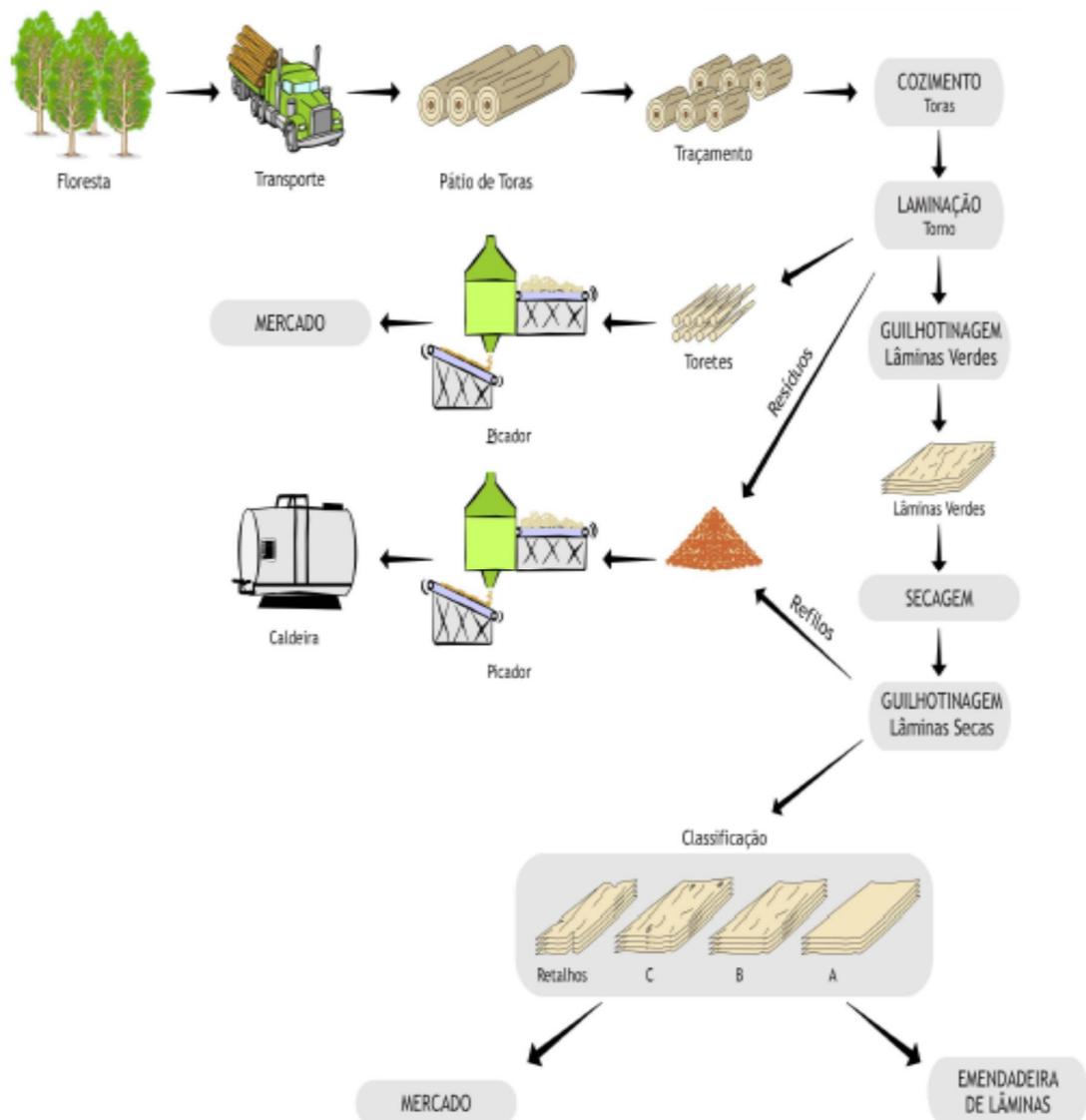


FIGURA 3 – FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO DE OBTENÇÃO DE LÂMINAS TORNEADAS DE MADEIRA  
FONTE: ABIMCI (2008)

#### 2.2.3.1.1 Exploração e transporte de toras

A matéria-prima na formas de toras que será usada no processo é cortada e levada da floresta até a indústria, normalmente em caminhões. Ao chegar ao

destino, às toras são descarregadas e estocadas no pátio de madeira. As toras são então seccionadas (traçadas) para padronização de seu comprimento. Depois de traçadas, as toras são transportadas até o setor de cozimento (ABIMCI, 2008).

#### 2.2.3.1.2 Cozimento das toras

As toras são cozidas ainda com casca e após o carregamento do tanque, este é fechado e posteriormente inicia-se o cozimento, que pode ser feito através de vapor ou água quente, de acordo com as características da madeira e material que se quer obter. Este cozimento se dá a uma temperatura normalmente inferior à 100° C, variando em função da massa específica da madeira. Já o tempo de cozimento depende do diâmetro da tora/bloco sendo, em geral, em torno de 14 horas. Este procedimento confere ao final do processo uma maior plasticidade às toras/blocos (ABIMCI, 2004).

Medina (1986), concluiu que é conveniente aquecer as toras para sua laminação, porque o aquecimento traz consigo melhoras no rendimento, na qualidade das lâminas e na resistência mecânica da linha de cola. No trabalho de Lutz (1967), para determinar o efeito da temperatura de laminação sobre a qualidade das lâminas obtidas por desenrolamento de Pinus, determinou-se que a temperatura de 60°C e de 70°C, foram as melhores, pois reduziram o desgaste da faca e contra faca além de melhorar a qualidade das lâminas, principalmente por redução das rachaduras originais no manuseio.

De acordo Nazar (2007), citado por Filho e Junior (2008), o processo de fabricação da madeira compensada é iniciado pela preparação das toras da qual serão retiradas as lâminas, as toras são submetidas ao calor para torná-las mais moles, em seguida as lâminas são obtidas por meio do torno rotativo. O tempo de cozimento depende diretamente da densidade da madeira, do diâmetro das toras e da temperatura do vapor.

Prata (2006) cita que o cozimento das toras é realizado para elasticizar a madeira, favorecendo o melhor acabamento nas superfícies das lâminas e facilitando no processo de laminação. Fatores como tempo de cozimento das toras, o teor de umidade e temperatura no ato da laminação, regulagem do torno, a

densidade da madeira, e a manutenção do torno como a substituição das facas no tempo correto influenciam diretamente na qualidade das lâminas.

Vários problemas podem ocorrer nas lâminas devido ao cozimento como lâminas felpudas e lâminas escamosas, podendo causar uma baixa qualidade dos painéis, e um excessivo consumo de resina, influenciando no custo de produção do compensado. O cozimento é geralmente recomendado para obtenção de lâminas de madeiras de densidade altas a serem usadas na face do compensado. Quando o acabamento da superfície da lâmina não é muito importante, como compensados estruturais ou para embalagens, muitas vezes o cozimento pode ser desnecessário (UMAÑA & BRITO, 2004).

#### 2.2.3.1.3 Laminação

As lâminas são camadas finas de madeira torneada ou faqueada, normalmente entre 0,3 a 6,3 mm de espessura, de acordo com a classificação da ASTM11 (1982, apud SELLERS, 1985).

Interamnense (1998) cita que um controle preciso na uniformidade da espessura das lâminas na laminação faz-se necessário para que possa ter uma colagem eficiente, um lixamento controlado e um maior controle na espessura final do painel compensado.

No que se refere às características tecnológicas da madeira adequada para laminação, essas estão relacionadas, principalmente, com os seguintes fatores: densidade da madeira (baixa a média), características do fuste (diâmetro e forma) e grã direita levemente inclinada (TSOUMIS, 1991).

As toras são colocadas e posicionadas no centralizador de toras do torno laminador (FIGURA 4). Aciona-se o equipamento que faz com que a tora gire contra um instrumento cortante de mesmo comprimento que o seu. Os primeiros giros do torno possuem a função de limpeza e regularização do cilindro. Por isto, o que sobra da operação é resíduo, que vai normalmente para um picador.

Segundo a ABIMCI (2002), após o arredondamento, inicia-se a verdadeira produção de lâminas que podem variar de 1 a 3 mm de espessuras e largura e comprimento variáveis. Quando a tora atinge um diâmetro que não mais permite sua laminação, para-se o torno e retira-se o rolete restante para dar início a um novo

ciclo de produção. A sobra da tora anterior pode, então, ser direcionada à fabricação de cavacos que vão ao mercado. Os refilos são recolhidos, picados e transformados em energia.



FIGURA 4 – LAMINAÇÃO DE TORA EM TORNO  
FONTE: ABIMCI (2008)

Bonduelle (2002) citado por Brand et al. (2004), conclui que no Estado do Paraná, o rendimento médio ponderado nas indústrias de chapas compensadas é de 36,52%, em que as maiores perdas ocorrem no processo de laminação. Ainda Silva citado por Prata (2006), em indústria de compensados de Pinus na região sul do Brasil, constatou para cada metro cúbico de compensados produzidos, se produz 1,9 m<sup>3</sup> de resíduos, considerando a laminação e as atividades de manufatura dos painéis. O autor menciona ainda que a produção de resíduos é de 65% quando considerado todo o processo produtivo (laminação e manufatura). Porém, de todo o resíduo gerado, 89% é produzido na laminadora e apenas 11%, na fábrica de compensados.

#### 2.2.3.1.4 Guilhotinagem de lâminas verdes

Esta etapa só ocorre na produção de lâminas torneadas. Neste caso, as lâminas verdes depois de obtidas são transportadas por um sistema de esteiras até a guilhotina para que sejam cortadas em larguras padrões. As lâminas guilhotinadas são classificadas, empilhadas, compactadas e estocadas, sendo posteriormente secadas (ABIMCI, 2008).

#### 2.2.3.1.5 Secagem de lâminas

As lâminas são estocadas e posteriormente secas de preferência em secadores a jato do tipo esteira ou secador-prensa (FIGURA 5).



FIGURA 5 – SECADOR DE LÂMINAS  
FONTE: FEZER (2012)

Após a secagem, as lâminas são estocadas de acordo com seu comprimento e padrão de qualidade seguido pela empresa. O teor de umidade das lâminas, logo após a laminação, é bastante elevado em razão do cozimento das toras. Este valor situa-se na faixa de 80% a 100%. A fim de se evitar aparecimento de fungos ou outros tipos de defeitos que comprometam a qualidade do compensado a secagem das lâminas é fator de urgência. A secagem artificial das lâminas é realizada por meio de secadores alimentados através de vapor fornecido por caldeiras. A temperatura e o teor de umidade são variáveis que ao longo do percurso inicia-se a operação com baixa temperatura e grau de umidade elevado; progressivamente a temperatura aumenta e o grau de umidade diminui até o final correspondente à umidade prevista para as chapas destinadas a colagem (PRATA, 2006).

Umaña & Brito, (2004) afirmam que a secagem de lâminas de madeira, apesar de ser mais fácil que a secagem de madeiras serradas, por possuírem

menores espessuras, torna-se um dos fatores mais importantes durante a fabricação do compensado, visto que, altos teores de umidade geralmente, resultam em uma colagem pobre. Em certos casos, bolhas de vapor são formadas, ocasionando danos ao material.

Por outro lado, um teor de umidade extremamente baixo é prejudicial, pois com a lâmina demasiadamente seca, a taxa de absorção do adesivo líquido será maior, aumentando também a velocidade de cura e a solidificação do adesivo (IWAKIRI, 2005).

#### 2.2.3.1.6 Guilhotinagem das lâminas secas

As lâminas estocadas são guilhotinadas com guilhotinas refiladeiras, empilhadas, de acordo com suas dimensões e qualidade superficial, e enfardadas. Os pacotes recebem etiquetas onde estão impressas suas principais características (comprimento, largura e classes de qualidade). Os pacotes são empilhados e embalados para serem enviados para a expedição e ao mercado. Os resíduos destes processos são recolhidos, picados e transformados em energia. Podem também ser direcionadas a produção de compensados, quando se tem uma unidade fabril integrada (lâminas e compensado) (ABIMCI, 2004).

#### 2.2.3.2 Processo de produção de compensados

O fluxo do processo produtivo de uma fábrica de compensados é relativamente simples, conforme pode ser observado na FIGURA 6, e envolve as seguintes etapas: (1) juntadeira de miolo; (2) montagem do compensado; (3) pré-prensagem; (4) prensagem; (5) Reparo; (6) esquadrejamento; (7) lixamento; (8) classificação; e (9) armazenamento, embalagem e expedição.

##### 2.2.3.2.1 Juntadeira de miolo

Difícilmente os painéis compensados são formados por lâminas inteiras, geralmente a composição destes painéis utiliza lâminas fracionadas em  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$  e  $\frac{1}{4}$ .

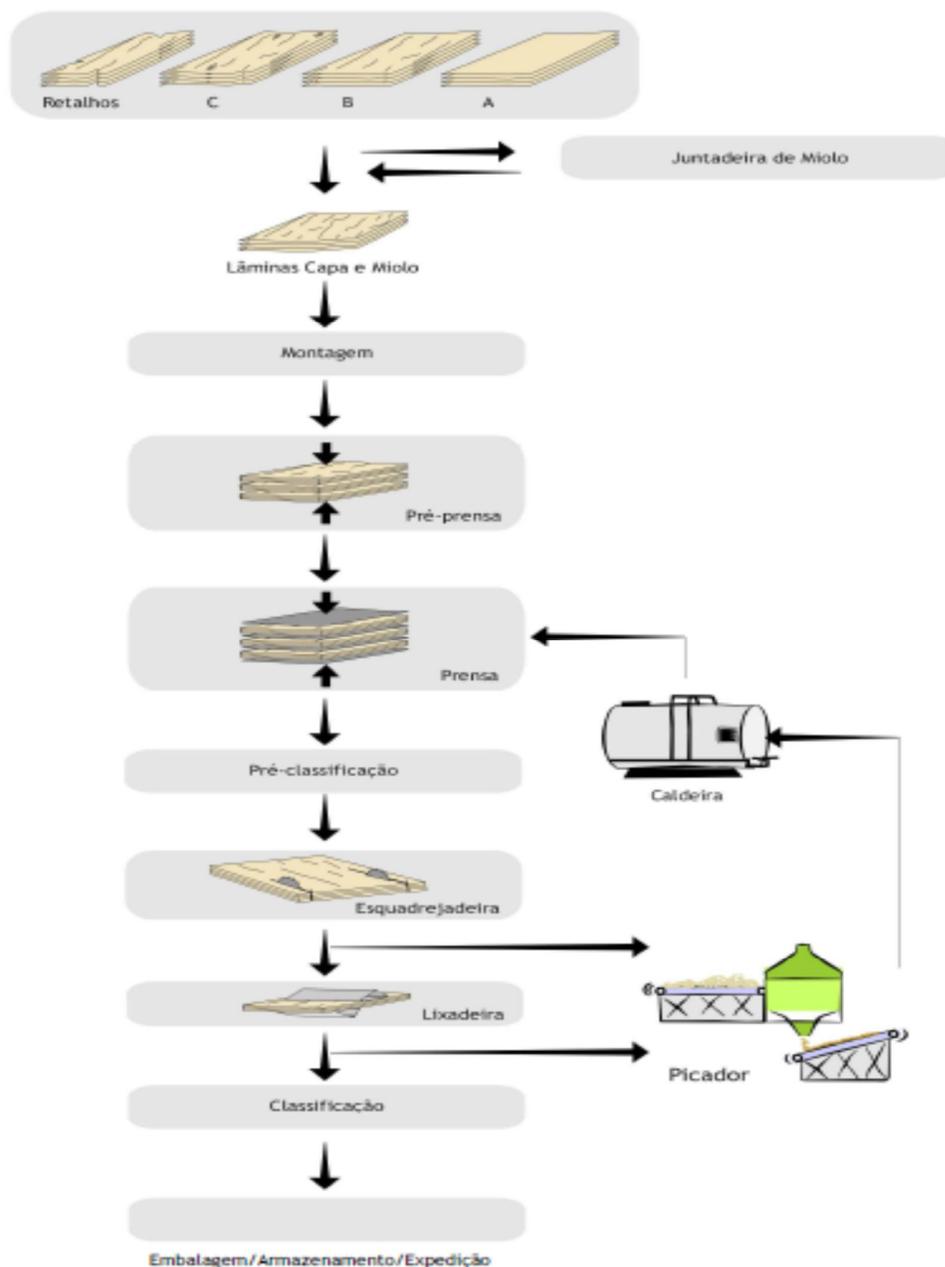


FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DO COMPENSADO  
 FONTE: ABIMCI (2008)

As lâminas estreitas são encaminhadas para uma juntadeira de miolo, objetivando seu aproveitamento e obter uma única lâmina com a dimensão padrão estabelecida. O processo de juntagem envolve as seguintes fases: alimentação, suavização, inspeção eletrônica, recorte, colagem, descarregamento e empilhamento. As lâminas juntadas na dimensão padrão são encaminhadas,

geralmente através de empilhadeira, para preparação e montagem do compensado (ABIMCI, 2008).

#### 2.2.3.2.2 Montagem do compensado

Previamente a montagem do compensado, as lâminas são submetidas à aplicação superficial de cola, através de um equipamento específico denominado passadeira de cola.

Baldwin (1995) afirma que o tipo, a quantidade e a composição do adesivo, assim como os procedimentos empregados na colagem de lâminas, são de importância fundamental na qualidade das chapas compensadas.

De acordo com Baldwin (1995), a colagem fenólica do compensado tem como características: colagem a quente, curado normalmente acima de 140°C, geralmente alcalino para cura rápida, resistente à água e de cor escura. Suas aplicações típicas são para painéis estruturais para uso exterior.

O mesmo autor relata as características da resina uréica (UF) para compensado como: colagem a quente ou a frio, cura ácida com o calor, cura acelerada através de um catalisador, resistente a água fria, incolor e emite formaldeído durante o uso.

Diferentes formulações de adesivo, com a incorporação de proporções diferenciadas de extensores e água, podem ser adotadas para otimizar a relação custo-benefício, na colagem de lâminas para compensados (IWAKIRI et al., 2002).

Nos aspectos concernentes à composição do adesivo, as diferentes proporções de resina, de extensor, de água e de catalisador estão relacionadas diretamente com a resistência da linha de cola das chapas produzidas (MARRA, 1992). Para maiores proporções de resina, em partes por peso do adesivo na sua formulação, a qualidade da ligação adesiva será superior. Na condição inversa, com maior grau de extensão, o custo final do adesivo será inferior, no entanto a qualidade da ligação também será inferior. O importante, portanto, seria a otimização da relação custo-benefício, em função dos requisitos técnicos com base nas classes de qualidade do compensado, para o uso a que se destina (SELLERS, 1985; MARRA, 1992).

Outras características como pH e extrativos presentes na madeira, poderão influenciar na cura da resina e, conseqüentemente, na qualidade das chapas produzidas. Madeiras com pH excessivamente ácido podem causar a pré-cura da resina ureia-formaldeído durante a fase de fechamento da prensa, prejudicando as propriedades finais do painel. Por outro lado, na colagem com resina fenol-formaldeído o baixo pH da madeira pode retardar a cura da resina (SILVA, 2001).

Segundo a ABIMCI (2008), duas diferentes passadeiras de colas podem ser consideradas no processo produtivo, sendo uma utilizada exclusivamente para aplicação de cola uréica, na fabricação do compensado de uso interno e outra para aplicação de cola fenólica na fabricação do compensado de uso externo (resistente à umidade). Após a aplicação de cola, ocorre a montagem do compensado.

Na montagem sempre é considerado um número ímpar de camadas ou lâminas, definida em função da espessura final do compensado. As lâminas são cruzadas (balanceadas), de forma que cada camada apresente uma lâmina disposta com grã perpendicular à camada adjacente. Normalmente, a lâmina que confere o balanceamento ao compensado é aquela destinada a compor o miolo curto (ABIMCI, 2004).

A seleção adequada das lâminas por classe de qualidade, ou seja, lâminas destinadas ao miolo e a capa dos compensados é um fator relevante na fase de montagem tendo em vista que uma das classificações dos painéis compensados é por qualidade das superfícies (PRATA, 2006).

Posteriormente a montagem, o compensado montado é transportado através de roletes até uma pré-prensa.

#### 2.2.3.2.3 Pré-prensagem

De acordo com Prata (2006), A pré-prensagem tem como função a transferência da cola de uma camada para a outra, melhorando distribuição do adesivo e a diminuição do tempo de prensagem a quente nos painéis, pois irá facilitar o manuseio e o carregamento da prensa. Um fator importante nesta etapa é o controle de pressão para não afetar a espessura final do painel.

O compensado previamente montado é submetido à pré-prensagem em uma prensa a frio que é carregada e descarregada manualmente. A pré-prensagem tem

como finalidade principal preparar o compensado para a prensagem final, facilitando o carregamento da prensa principal e conferindo menor tempo e melhor qualidade de colagem ao produto final. Esta etapa do processo não é implementada por todas as empresas (ABIMCI, 2008).

#### 2.2.3.2.4 Prensagem

O tempo de assemblage refere-se ao tempo transcorrido entre a montagem dos painéis compensados e o carregamento na prensa quente. O tempo de assemblagem deve ser programado de tal maneira que permita a transferência do adesivo da lâmina com cola para a lâmina sem cola, a penetração do adesivo nas células superficiais das lâminas e o umedecimento dessas lâminas (IWAKIRI, 2005).

Se o tempo de assemblagem for menor que o ideal, não haverá a penetração do adesivo, resultando uma linha de cola faminta. Se for maior, ocorrerá uma polimerização parcial do adesivo antes da prensagem. Em ambos os casos a qualidade do painel será prejudicada (JANKOWSKY, 1980).

Na prensa o compensado montado é submetido à ação de pressão e temperatura por um período de tempo previamente definido. Tanto o tempo, como a temperatura e pressão dependem do tipo de cola empregada, bem como da espessura do compensado (ABIMCI, 2002).

O ciclo de prensagem é fator de grande influência nas propriedades dos compensados. A temperatura de prensagem leva em consideração a característica do adesivo em função de sua cura. O tempo se refere ao período necessário para que a linha de cola mais interna receba temperatura que propicie sua solidificação, enquanto a pressão exercida pela prensa é função direta da densidade da madeira que compõe o compensado (PRATA, 2006).

Para Keinert Jr. (1982), o ciclo de prensa (tempo de prensagem, temperatura e pressão aplicada) é um fator de fundamental importância no fluxo de produção de compensados, pois o tempo de prensagem e a temperatura utilizados são variáveis limitantes do ponto de vista da qualidade do compensando e da economia no processo produtivo. Uma temperatura e um tempo adequados podem representar uma linha de cola bem curada e, por conseguinte, uma alta porcentagem de falha na

madeira, além do mais, podem representar um volume diário maior de compensados produzidos com baixo consumo de energia.

De acordo com Kollmann et al. (1975), temperaturas de prensagem demasiadas altas reduzem a qualidade do compensado, dado que a plasticidade da madeira aumenta rapidamente acima de 100°C, o que conduz a uma redução de espessura do painel.

Tempo de prensagem é o tempo decorrido desde o fechamento da prensa até a sua abertura. Este tempo deverá ser suficiente para que o centro do painel atinja a temperatura ideal para a cura da resina e que seja suficiente também para a migração da umidade pelas bordas do painel. O tempo de prensagem deve ser o suficiente para que as partes mais internas da linha de cola atinjam a temperatura de cura (CHOW et al., 1997).

A pressão é outro fator importante envolvido na prensagem, pois tem a função transferir o adesivo de uma lâmina para outra e melhorar através da diminuição dos espaços vazios através da compressão da madeira a difusão de calor a partir da superfície até o centro do painel (IWAKIRI 2005).

#### 2.2.3.2.5 Reparos

Consiste basicamente na aplicação de massa de rápido endurecimento, acrílica ou similar, objetivando eliminar eventuais defeitos superficiais (nós abertos, trincas, etc.) na capa e contracapa após a prensagem. Tal procedimento visa conferir ao compensado uma melhor aparência (ABIMCI, 2008).

#### 2.2.3.2.6 Esquadrejamento

O compensado é, através de roletes, direcionado a uma serra esquadrejadeira, a qual é responsável por conferir as dimensões finais (comprimento e largura) requeridas para o produto (ABIMCI, 2008).

A esquadrejadeira mal regulada pode gerar alto índice de descartes, tendo mau acabamento nas bordas dos painéis e gerando painéis desclassificados. Estudo feito por Bonduelle et al. (2004), concluí que na manufatura dos painéis a uma perda de 10,2% na fase de esquadrejamento.

#### 2.2.3.2.7 Lixamento

O compensado já esquadrejado segue, através de roletes para uma lixadeira de desbaste e, posteriormente, para uma lixadeira bitoladeira, onde é definida a espessura do painel e eliminado alguns defeitos ou imperfeições superficiais (ABIMCI, 2008).

Painéis produzidos com medidas superiores à planejada e massa acrílica úmida podem gerar um maior desgaste ou “entupimento” das grãs das lixas, causando uma troca excessiva (PRATA, 2006).

#### 2.2.3.2.8 Classificação

Após o lixamento o compensado é classificado e, caso existam imperfeições que possam ser consertadas, o painel é emassado novamente. Caso contrário, o compensado é rejeitado ou classificado como sendo de qualidade inferior (ABIMCI, 2004).

#### 2.2.3.2.9 Armazenamento, embalagem e expedição

O compensado classificado é embalado, onde o mesmo é palletizado. O produto palletizado é armazenado em local adequado para posterior expedição (ABIMCI, 2004).

### 2.2.4 Oferta e demanda

Os números no âmbito internacional ratificam uma característica do comércio mundial de painéis de madeira, que se realiza, preferencialmente, entre regiões próximas, já que os preços de venda não são competitivos quando incorporados os valores de frete para grandes distâncias (BNDES, 2008).

A FIGURA 7 apresenta os principais exportadores e importadores mundiais de compensados em 2008.

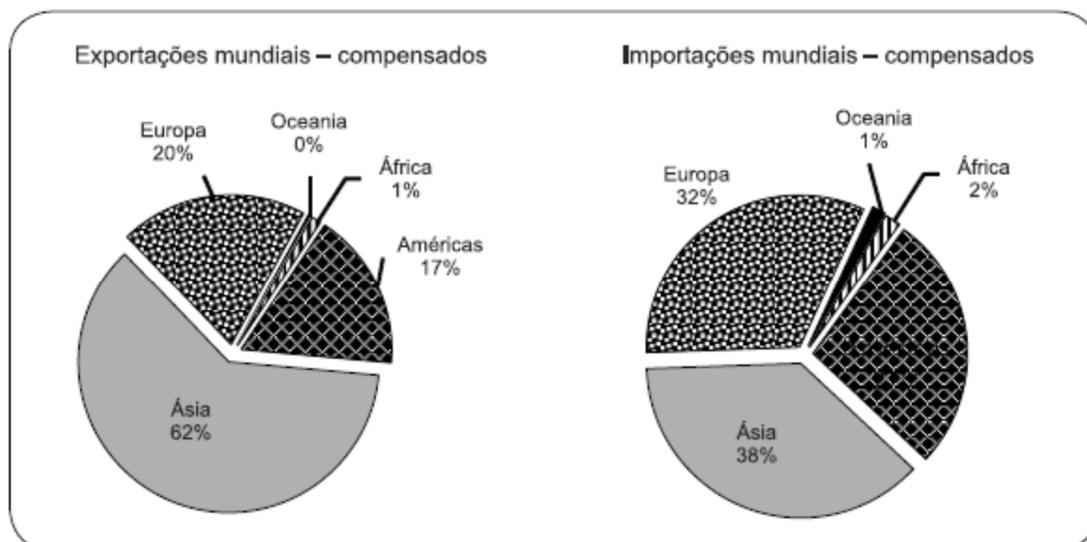


FIGURA 7 - EXPORTAÇÃO X IMPORTAÇÃO DE COMPENSADOS EM 2008.  
 FONTE: FAO, adaptado por BNDES (2010).

TABELA 2 - PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA EM 2008

Posição/país	Painéis de madeira				Total (m <sup>3</sup> )
	Reconstituída			Processada mecanicamente	
	MDP (m <sup>3</sup> )	MDF (m <sup>3</sup> )	Chapa dura (m <sup>3</sup> )	Compensado (m <sup>3</sup> )	
<b>1° China</b>	11.505.000	27.405.000	1.436.000	36.220.000	<b>76.566.000</b>
<b>2° EUA</b>	18.164.320	3.021.390	860.000	10.375.740	<b>32.421.450</b>
<b>3° Alemanha</b>	10.193.000	4.602.525	1.939.850	204.300	<b>16.939.675</b>
<b>4° Canadá</b>	7.962.000	1.207.000	103.000	2.225.000	<b>11.497.000</b>
<b>5° Rússia</b>	5.750.000	1.170.000	510.000	2.583.000	<b>10.013.000</b>
<b>6° Brasil</b>	2.617.070	2.073.800	510.660	2.631.000	<b>7.832.530</b>
<b>7° Polônia</b>	5.087.994	1.760.402	215.602	395.326	<b>7.459.324</b>
<b>8° Malásia</b>	222.000	1.274.000	120.000	5.601.000	<b>7.217.000</b>
<b>9° França</b>	4.525.049	1.016.584	126.681	360.000	<b>6.028.314</b>
<b>10° Turquia</b>	3.181.000	1.921.000	250.000	111.000	<b>5.463.000</b>
<b>Total (10 maiores)</b>	<b>69.207.433</b>	<b>45.451.701</b>	<b>6.071.793</b>	<b>60.706.366</b>	<b>181.437.293</b>
<b>Total (mundo)</b>	<b>103.534.985</b>	<b>57.313.163</b>	<b>8.653.460</b>	<b>77.356.105</b>	<b>246.857.713</b>
<b>% 10 maiores</b>	<b>67%</b>	<b>79%</b>	<b>70%</b>	<b>78%</b>	<b>73%</b>

FONTE: FAO, ABIPA E ABIMCI, adaptado por BNDES (2010).

A produção mundial de madeira compensada em 2008 foi de 77,35 milhões de m<sup>3</sup>, totalizando 31% do total de painéis de madeira produzidos no mundo. Os 10 principais produtores de compensado totalizam 78% desta produção, sendo que o Brasil é o 4º maior produtor, perdendo apenas para a China (46% da produção mundial), Alemanha e Malásia (TABELA 2).

Já para o consumo aparente, que considera a produção mais a importação, menos a exportação, houve no ano de 2008 um consumo de 73,09 milhões de m<sup>3</sup>, sendo os 10 principais consumidores responsáveis por 78% do consumo mundial. O Brasil foi o 9º maior consumidor mundial (TABELA 3).

Em 2008, o consumo per capita médio no mundo foi de 34,7 m<sup>3</sup>/mil hab., embora países como Canadá tenham apresentado consumo de 224,7 m<sup>3</sup>/mil hab., 6,5 vezes a media mundial. Destaca-se o fato de o nível de consumo não estar atrelado necessariamente ao nível de renda, uma vez que países com menor renda tem consumo per capita de painéis de madeira maior que o de países com renda superior. O patamar do consumo per capita, nesse caso, parece mais ligado ao acesso e, principalmente, aos hábitos de consumo da população do país objeto de análise, enquanto o fator renda fica em segundo plano.

É importante notar que o consumo per capita brasileiro encontra-se abaixo da media mundial e bastante abaixo da media do grupo dos 10 maiores produtores, do qual faz parte. (BNDES, 2010).

### 2.2.5 Preço

Segundo Biazus et al. (2010), em 2008, o preço mundial médio da madeira compensada foi de US\$ 522/m<sup>3</sup>. Em comparação com outros painéis de madeira, o compensado ficou atrás das chapas de fibra que tiveram o preço médio de US\$ 680/m<sup>3</sup>. No mesmo ano, o preço médio do MDF foi estimado em US\$ 360/m<sup>3</sup>, enquanto o MDP atingiu US\$ 303/m<sup>3</sup>. O aumento médio de preço dos painéis de madeira esteve em 1,4% a.a. no período 1997-2008 (FIGURA 8 e 9).

TABELA 3 - CONSUMO APARENTE DE PAINÉIS DE MADEIRA EM 2008

Painéis de madeira							
Posição/país	Reconstituída			Processada mecanicamente	Total (m³)	População (mil hab.)	Consumo <i>per capita</i> (m³/mil.hab.)
	MDP (m³)	MDF (m³)	Chapa dura (m³)	Compensado (m³)			
<b>1° China</b>	11.992.379	25.628.036	1.106.987	30.046.976	<b>68.774.378</b>	1.353.311	50,8
<b>2° EUA</b>	21.399.320	3.390.480	1.236.782	12.928.938	<b>38.955.520</b>	314.659	123,8
<b>3° Alemanha</b>	9.356.000	2.063.006	1.109.982	1.158.544	<b>13.687.532</b>	82.167	166,6
<b>4° Canadá</b>	6.108.000	1.703.000	688.000	1.372.000	<b>9.871.000</b>	140.874	70,1
<b>5° Rússia</b>	1.523.000	951.000	85.000	6.159.000	<b>8.718.000</b>	127.156	68,6
<b>6° Brasil</b>	5.398.563	1.612.970	129.881	418.711	<b>7.560.125</b>	38.074	198,6
<b>7° Polônia</b>	2.880.997	1.153.000	9.000	3.501.000	<b>7.543.997</b>	33.573	224,7
<b>8° Malásia</b>	2.632.950	2.262.900	361.390	656.000	<b>5.913.240</b>	193.734	30,5
<b>9° França</b>	3.702.308	1.246.494	104.112	766.618	<b>5.819.532</b>	59.870	97,2
<b>10° Turquia</b>	3.100.000	1.793.000	460.000	271.000	<b>5.624.000</b>	74.816	75,2
<b>Total (10 maiores)</b>	<b>68.093.517</b>	<b>41.803.886</b>	<b>5.291.134</b>	<b>57.278.787</b>	<b>172.467.324</b>	<b>2.418.234</b>	<b>71</b>
<b>Total (mundo)</b>	<b>101.378.242</b>	<b>53.701.697</b>	<b>8.826.712</b>	<b>73.095.596</b>	<b>237.002.220</b>	<b>6.829.362</b>	<b>35</b>
<b>% 10 maiores</b>	<b>67%</b>	<b>78%</b>	<b>60%</b>	<b>78%</b>	<b>73%</b>	<b>35</b>	<b>-</b>

FONTE: FAO, ABIPA E ABIMCI, adaptado por BNDES (2010).

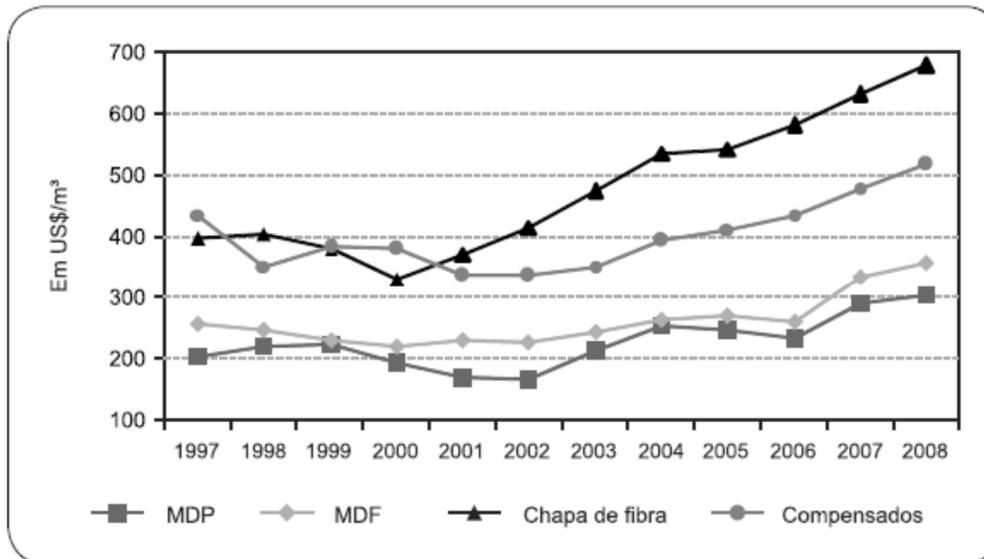


FIGURA 8 - EVOLUÇÃO DO PREÇO MÉDIO DE PAINÉIS DE MADEIRA NO MUNDO  
 FONTE: FAO, adaptado por BNDES (2010)

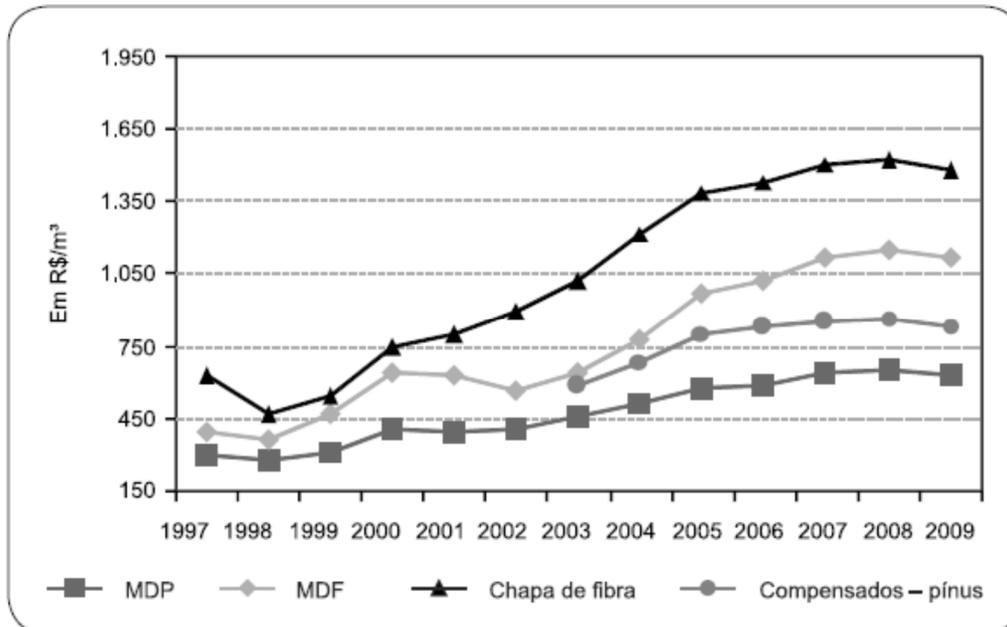


FIGURA 9 - EVOLUÇÃO DO PREÇO MÉDIO DE PAINÉIS DE MADEIRA NO BRASIL  
 Fonte: STCP, citado por BNDES (2010).

### 2.2.6 Compensado de Pinus

A industrialização da madeira no Brasil, incluindo a produção de compensado, teve como base, inicialmente, as reservas florestais naturais da Floresta Atlântica e da Floresta com Araucária das regiões Sul e Sudeste. Mas o panorama já era outro ao final da década de setenta, com o amadurecimento das florestas plantadas no Sul e Sudeste, e a exploração extensiva da Amazônia (FONTES, 1990, apud DELESPINASSE, 1995, p. 4).

Segundo ABIMCI (2002), isso se deve porque na década de 1960, o Governo Federal iniciou uma política de incentivos fiscais para o plantio de florestas de rápido crescimento nas regiões sul e sudeste do país. As espécies utilizadas para o sul do país foram espécies do gênero *Pinus* (*Pinus taeda* e *Pinus elliottii* principalmente), espécies estas originárias da costa leste dos Estados Unidos da América, e que se adequaram muito bem na região devido ao clima e ao tipo de solo. Como consequência, nos anos seguintes houve uma grande oferta de matéria prima que acabou atraindo várias indústrias de compensados, devido à escassez da matéria prima nativa.

Segundo dados da ABIMCI (2002), 70% das lâminas consumidas pelas indústrias de compensados no início da década de 1990, eram madeiras de folhosas provenientes da região norte do país. Este quadro vem se alterando gradativamente nos últimos anos, com a participação maior da madeira de pinus em relação à de folhosas, para produção de lâminas e compensados.

SILVA (1987) demonstrou, entre outros fatores, uma significativa participação da matéria prima no custo total da fabricação de compensado no Estado do Paraná, como pode ser observado na TABELA 4.

De acordo com Iwakiri et al. (2002), a utilização cada vez maior de pinus na produção de lâminas é favorecida principalmente em razão da existência de grandes áreas de plantios na região sul do país e do seu rápido crescimento. Outro fator determinante é o custo de transporte de madeiras tropicais da região norte para o sul, além dos aspectos relativos à preservação ambiental e da certificação florestal.

Ainda segundo Iwakiri et. al. (2002), a madeira de pinus apresenta algumas limitações quanto à qualidade das lâminas produzidas. No entanto, as indústrias de compensados utilizam as lâminas de pinus para formação do miolo do painel, cujo

volume é mais substancial, enquanto as lâminas de madeiras tropicais de espessuras menores são empregadas nas capas como revestimento do painel.

TABELA 4 - PARTICIPAÇÃO DOS ITENS DE CUSTO NA INDÚSTRIA

ITENS DE CUSTO	%
CUSTO VARIÁVEL	
Madeira	72,41
Cola	5,68
Insumos	6,16
Armazenamento	0,98
CUSTO VARIÁVEL MÉDIO	
	85,22
CUSTO FIXO	
Administração	1,27
Térreo	1,39
Mão-de-obra	6,51
Equipamentos	1,53
Edificações	4,09
CUSTO FIXO MÉDIO	
	14,78
CUSTO TOTAL MÉDIO	
	100

FONTE: DELESPINASSE (1995)

O aumento no número de espécies alternativas para laminação e produção de compensados significa ampliar a oferta de matéria-prima da madeira. No entanto, isso reflete em algumas limitações técnicas relacionadas ao processo de colagem da madeira. A baixa densidade e a alta porosidade da madeira são fatores de grande influência sobre a mobilidade do adesivo, formação e resistência da linha de cola (Marra, 1992). Tsoumis (1991) menciona as diferenças entre os lenhos inicial e tardio, juvenil e adulto como fatores importantes que devem ser considerados na colagem de lâminas de madeiras provenientes de espécies de rápido crescimento.

Kollman et al. (1968) afirmam que, como regra geral, a grande variabilidade na densidade da madeira de coníferas depende mais da porcentagem relativa do lenho tardio do que da variabilidade das densidades individuais dos lenhos inicial e tardio. De acordo com Bendtsen (1978), para alcançar êxito no uso dos recursos florestais provenientes de reflorestamentos, os conceitos tradicionais devem ser adaptados às características da matéria-prima, especialmente no que concerne aos crescentes índices percentuais de lenho juvenil existentes nas árvores de rápido crescimento.

De acordo com Sellers (1985) e Baldwin (1995), os fatores básicos que interferem no processo de colagem da madeira variam com a madeira, adesivo e condições de colagem.

### 2.3 COMPENSADO PLASTIFICADO

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente – ABIMCI (2011) há bastante tempo algumas empresas do setor, produtoras de compensado, já destinavam seus produtos para a construção civil para serem utilizados como fôrmas de concreto. Mesmo sem nenhum acabamento específico, o compensado era utilizado principalmente como fôrmas usadas para confecção de concreto aparente, devido à qualidade do acabamento proporcionado.

Ainda segundo a ABIMCI (2011), buscando agregar valor aos seus produtos, de maneira a possuir um diferencial, e com o auxílio de certas inovações tecnológicas esta empresas começaram adotar um sistema de acabamento para seus produtos, aumentando a qualidade do acabamento do concreto aparente e vida útil das fôrmas, aumentando o número de reutilizações.

No ano de 2008, a situação de muitas empresas do seguimento florestal já estava comprometida, fábricas de compensado em especial, que passavam por uma queda em sua produção desde 2005. A crise econômica internacional foi responsável pelo fechamento de muitas destas fábricas, que tinham sua produção voltada para exportação, principalmente EUA e Europa. As fábricas que resistiram tinham um planejamento diferenciado e todas buscaram novos mercados para dar continuidade a sua produção (POLZL, 2011).

Devido ao aquecimento e constante crescimento que passa a construção civil no Brasil, a esmagadora maioria das empresas produtoras de compensado migraram sua produção visando este setor, cuja demanda por material mantém-se alta até hoje. Para atender esta demanda as empresas que não produziam ainda, começaram a fabricar então o compensado plastificado, que é usado como fôrma de concreto na construção civil (ABIMCI, 2011).

Segundo Filho & Júnior (2008), o compensado plastificado é um compensado multilaminado (FIGURA 10), com suas faces revestidas com filme fenólico. As chapas são fabricadas em sua maioria com madeiras tropicais de alta densidade nas faces. É bastante utilizado na execução de fôrmas para concreto

aparente em função do alto desempenho das chapas na obtenção de superfícies mais regulares e menos ásperas, com elevado índice de reaproveitamento. As chapas de compensado plastificado possuem características diferenciadas das condições de umidade, é 100% a prova d'água.

Segundo Araujo e Fortes (2009), o compensado plastificado é recomendado para uso externo e fôrmas para concreto, economicamente viável por possuir um elevado índice de reutilizações.



FIGURA 10 - COMPENSADO PLASTIFICADO

FONTE: FILHO & JUNIOR (2008)

### 2.3.1 Caracterização Técnica

A partir do processo básico de fabricação do compensado, os diferentes produtos compensados são formados, com agregação de componentes (agregação de valor), formando produtos com certa diferenciação no mercado (POZLZ, 2011).

No caso do compensado plastificado, após a calibração é acrescida uma aplicação de filme sintético fenólico de 120 g/m<sup>2</sup> a 220 g/m<sup>2</sup>, na superfície do produto (IWAKIRI et al., 2004).

Segundo Iwakiri et al. (2004), a resina fenol formaldeído (FF) é utilizada na forma de película, comercialmente denominada de filme fenólico ou tegofilme, o qual se trata de um papel poroso impregnado com esta resina.

As resinas fenólicas são umas das maiores famílias de polímeros e oligômeros. São compostas por vários tipos de estruturas baseadas, sobretudo em produtos da reação de fenol, ou de um substituto de fenol, com um aldeído de fenol, normalmente formaldeído, na presença de um catalisador ácido ou base. Este tipo de resinas apresenta uma vasta gama de aplicações, que vai desde os materiais de

construção, até aos materiais utilizados em eletrônica e na indústria aeroespacial (SILVA, 2008).

Os revestimentos com este tipo de resinas possuem excelente resistência aos solventes, ácidos e sais, e propriedades de isolamento elétrico, devido sobretudo à baixa capacidade de absorção de humidade. Podem ser usados numa ampla gama de temperaturas, até cerca de 370°C por curtos períodos de tempo, e em regime contínuo até temperaturas que rondam os 150°C. A espessura máxima recomendada é de 25 µm. Uma das desvantagens físicas deste tipo de revestimentos é a sua fraca flexibilidade, embora esta característica dependa das condições de cura do filme (SILVA, 2008).

Segundo a ficha informativa dos produtos da Coveright (2011), que fábrica o filme fenólico na Alemanha e vende para alguns produtores no Brasil, o filme fenólico ou tegofilme são a base de resina fenólica usados na produção de fôrmas de concreto aparente de alta qualidade ou ainda na indústria de transporte. Os painéis plastificados são altamente resistentes a desgastes mecânicos, penetração de umidade, todos os tipos de agentes diluídos como ácidos, álcalis, solventes, óleos de concreto e fôrma. Também são adequados para embalagens para cargas pesadas e na construção de veículos.

São fabricados filmes de gramaturas variando de 120 a 220 g/m<sup>2</sup>, contudo algumas empresas que produzem com gramaturas maiores utilizam a técnica de sobreposição dos filmes no momento da prensagem. As cores dos filmes são diversificadas e são sujeitas a variação de acordo com os parâmetros de prensagem. As larguras são de 95, 127, 130 e 156 cm. (ABIMCI, 2011).

De acordo com Kollmann et al. (1975), a resina FF na forma de película pode ser utilizada como elemento de ligação adesiva, e tem a vantagem de eliminar a operação de mistura e espalhamento, sendo particularmente adequada para colagem de lâminas finas e frágeis, para usos em ambientes úmidos ou expostos.

Segundo a Coveright (2011), os filmes tem vida útil de 12 meses quando estocados em condições adequadas, na embalagem original com 25°C de temperatura e umidade relativa de 50%. Após este tempo o filme ainda pode ser utilizado, mas a fluidez da resina durante a prensagem será menor.

### 2.3.2 Fabricação

Segundo a ABIMCI (2011), não existe um processo padronizado na fabricação do compensado plastificado. Diferente do compensado tradicional, o compensado plastificado pode sofrer o processo de placagem (união entre compensado e filme fenólico) em diferentes situações.

Normalmente, a chapa de madeira compensada tradicional é envolvida pelo filme sintético e é encaminhada a uma prensa específica reservada unicamente para este fim, que tem por objetivo executar a placagem. O compensado é prensado à pressão específica de 1,5 MPa, temperatura de prensagem a partir de 140 °C e tempo de prensagem na faixa de 2 a 3 minutos (IWAKIRI et al., 2004).

Entretanto algumas empresas não realizam este processo de fabricação do compensado tradicional e a placagem em processos distintos. O tegofilme é colocado na prensagem convencional, com os mesmos parâmetros de prensagem do compensado tradicional (POLZL, 2011).

Já a placagem que é realizada pela maioria das empresas é feita com o auxílio de chapas de ferro entre compensado e os braços da prensa. Em certas empresas esta chapa é solta e limpa entre cada prensagem, já em outras empresas estas chapas são soldadas no próprio prato da prensa (FORMACOMP, 2011).

O acabamento final, após a saída da prensa, pode ser executado de duas formas distintas a partir do corte do excesso de plástico das bordas com estilete. Uma opção é aplicar massa acrílica tendo por fim restaurar eventuais imperfeições das bordas, a outra é encaminhar este produto novamente à esquadrejadeira, para cortar eventuais falhas, as quais ocorrem nas bordas do compensado. Estas falhas decorrem do aquecimento desigual das chapas de ferro e da pressão desigual da prensa sobre o filme plástico envolvente no compensado (REVECOM, 2011).

De acordo com a fabricante Coveright (2011), os filmes são normalmente prensados em um painel compensado acabado. Contudo o processo de produção do compensado e a placagem podem também ser realizado em apenas uma etapa. É recomendado o uso de pratos de aço inoxidável, porém aço cromado e alumínio também podem ser utilizados. Os filmes de cura rápida não devem ser prensados em pratos de alumínio.

As condições de prensagem para a prensagem do filme fenólico são relacionadas ao tipo de madeira utilizada. Coníferas necessitam de 1,3 a 1,MPa de pressão, enquanto as folhos precisam de valores maiores. A pressão de placagem deve ser 10% maior que a pressão de produção do painel (COVERIGHT, 2011)

Apenas lâminas selecionadas devem ser usadas. A capa e a segunda lâmina não devem possuir imperfeições. Evitar sobreposição e má junção de lâminas em toda a montagem do painel, porque pode marcar a superfície e causas fissuras. Lâminas torneadas grossas e ásperas podem causar defeitos na superfície devido à má distribuição da pressão. O teor de umidade do compensado deve ser constante e homogêneo, com valores ótimos de 8 +- 2%. Para produção em uma etapa as lâminas não devem exceder 6% de umidade (COVERIGHT, 2011).

A montagem do painel, placagem e prensagem devem ser cuidadosamente checadas e qualquer alteração na produção exige testes. A temperatura da prensagem e o tempo de prensagem dependem da espessura do painel. Para painéis com menos de 6 mm, o tempo de prensagem deve ser reduzido em 10%. Para espessuras maior que 22 m, o tempo deve ser incrementado em 15%.Os filmes de cura rápida foram desenvolvidos para prensas de ciclo curto. Tempos de prensagem de 30 segundos podem ser atingidos com temperaturas de 165 – 170 °C. (COVERIGHT, 2011).

Segundo Iwakiri et al. (2004), a utilização de maior temperatura (160°C) e pressão específica (2,0 MPa), mostraram ser mais eficientes para a colagem de lâminas com filme fenólico, assim como o emprego de maior temperatura de prensagem reduz substancialmente o tempo de prensagem dos painéis e melhora a qualidade da ligação adesiva.

### 2.3.3 Utilização em fôrmas de concreto

Nem sempre se utilizam fôrmas industrializadas, seja por motivo de custo ou ainda por peculiaridades da estrutura ou peça que se vai construir, ainda que alguns componentes tenham aquela origem (ARAUJO E FORTES, 2009).

Então, além das ferramentas manuais são também usadas máquinas, que devem contribuir para reduzir o esforço humano, agilizando os trabalhos e dando melhor acabamento às fôrmas e conseqüentemente ao concreto. No entanto, não

raro, tais elementos são mal empregados, pois apenas são deixados nas mãos dos carpinteiros, dos quais poucos têm formação ou discernimento para operá-los com melhor rendimento. Cabe aos técnicos e dirigentes das obras orientá-los, quer na escolha ou na maneira de usar as máquinas (COVERIGHT, 2011).

As chapas de compensado plastificadas devem ser desembaladas pelo cliente, e transportadas para o local de uso ou armazenamento, tomando-se os devidos cuidados contra quedas e batidas que danifiquem as bordas, quinas e superfície das mesmas (ARAUJO E FORTES, 2009).

Quando do processo de corte das chapas de compensados plastificadas recomenda-se a utilização de serra de vídia com as características apresentadas na TABELA 5.

A bancada da serra devera ter a dimensão tal, que apoie pelo menos 2/3 da chapa, nos dois sentidos; e seja fixada de maneira que não provoque trepidação, quando em funcionamento (REVECOM, 2011)

TABELA 5 - CARACTERÍSTICAS APROPRIADAS DE SERRAS PARA CORTE DE CHAPAS

RPM	DIÂMETRO (mm)	ESPESSURA DO DISCO (mm)	ESPESSURA DO CORTE (mm)	NÚMERO DE DENTES
3500	350	2.5	3.8	72
3800	350	2.5	3.8	60
4200	350	2.5	4.4	54

FONTE: REVECOM (2011).

Quando da preparação dos painéis recomenda-se, após os cortes das chapas, a pintura dos novos topos com tinta impermeabilizante, 100% à prova d'água, à base de resina sintética. E durante a confecção e montagem dos painéis, quando da utilização de pregos, os mesmo deverão ser introduzidos no sentido perpendicular às lâminas e nunca se deve aplicar pregos nos topos da chapas de compensados plastificadas (FORMACOMP, 2011)

Outra advertência refere-se ao corte sem auxílio de guias ou esquadros. Acreditando-se que mesmo havendo habilíssimos carpinteiros, deve-se observar que, sem o apoio de guias ou esquadros, as chapas, que têm grandes dimensões, terão recortes sinuosos, as quais acabam sendo origens de fuga de nata de cimento

das fôrmas, gerando cavernas (chamadas de bexigas ou bicheiras) (REVECOM, 2011).

Para a introdução das ferragens nas formas, recomenda-se que as mesmas não sejam jogadas ou arrastadas, e sim colocadas, apoiadas em espaçadores, sobre a superfície das chapas de compensados plastificadas. (STAMATO & CALIL JR., 2002).

Quando do processo de lançamento e vibração do concreto recomenda-se a utilização do vibrador com ponta revestida de borracha, e que seja evitado o contato da ponta do vibrador com a superfície da forma, causando danos que comprometam a garantia das chapas de compensados plastificadas. (STAMATO & CALIL JR., 2002).

Durante processo de desforma recomenda-se a utilização de cunhas e alavancas de madeira. Deve ser evitada a utilização de pés-de-cabra, assim como a quedas dos painéis diretamente ao solo, uma vez que, estes fatores, quando isolados ou em conjunto danificam e comprometem a garantia da chapas de compensados plastificadas (MARANHÃO et al., 1999).

Quando da limpeza das formas, após a desforma, recomenda-se que a mesma deverá ser lavada com água sob pressão, e em seguida deverão receber nova aplicação de agente desmoldante, para facilitar a próxima operação de desforma e conseqüentemente proporcionar uma vida útil maior as chapas de compensados plastificadas (FORMACOMP, 2011).

Os furos e recortes para passagem de tubulações ou de elementos estruturantes das fôrmas recomenda-se utilização de serra copo, serras tipo tico-tico, serra circular de mão e furadeira com broca adequada para madeira evitando danos às chapas de compensados plastificadas (STAMATO & CALIL JR., 2002).

O numero de utilizações das chapas de compensados plastificadas, dependem diretamente das condições de uso do material e forma de utilização, para bons resultados de aproveitamento (POLZL, 2011).

A garantia das chapas de compensado plastificadas pelo fabricante está automaticamente ligada aos procedimentos e normas de utilização, caso comprovado seja, que não estão sendo seguidas as normas e procedimentos, o produto perderá a garantia (REVECOM, 2011).

Como sugestão deverá o cliente dar treinamento aos engenheiros, mestres de obra e demais funcionários diretamente ligado ao uso das chapas de compensados plastificados (ABIMCI, 2011).

#### 2.3.4 Desmoldantes para compensados

Os desmoldantes são substâncias que formam uma fina camada oleosa entre o concreto e as fôrmas, impedindo a aderência entre ambos, o que facilita a remoção das fôrmas, sem danificar as superfícies e arestas do concreto. Os desmoldantes são compostos por ácidos graxos e ésteres, alguns possuindo hidrocarbonetos na sua composição (MARANHÃO, 2000).

Para Maranhão et al. (1999), a barreira química criada pelo desmoldante deve ser resistente à água, reduzindo a penetração de umidade nas chapas de madeira compensada, com um significativo aumento da durabilidade das fôrmas. Deve ser evitada a utilização de óleos e graxas como desmoldante, estes além de não impedirem a aderência entre as fôrmas e o concreto, deixam seus resíduos no concreto, o que dificulta a aplicação dos revestimentos (reboco, pintura, cerâmica, etc.), e no caso do concreto aparente deixa-o com uma aparência desagradável.

A aplicação dos desmoldantes sobre as fôrmas devem ser feitas com broxas ou escovões de maneira uniforme. Após secar uma hora, pode-se iniciar a concretagem. Sempre limpar e aplicar o desmoldante às fôrmas, antes de cada reaproveitamento. Em caso de dúvidas, respeitar as especificações para a aplicação do produto, de acordo com o fabricante (MARANHÃO, 2000).

### 2.4 FÔRMAS PARA CONCRETO

Segundo Barros e Melhado (2006) a execução de elementos com concreto armado deve seguir um esquema básico de produção que possibilite a obtenção das peças previamente projetadas e com a qualidade especificada. Este esquema, apresentado genericamente na FIGURA 11, a seguir:

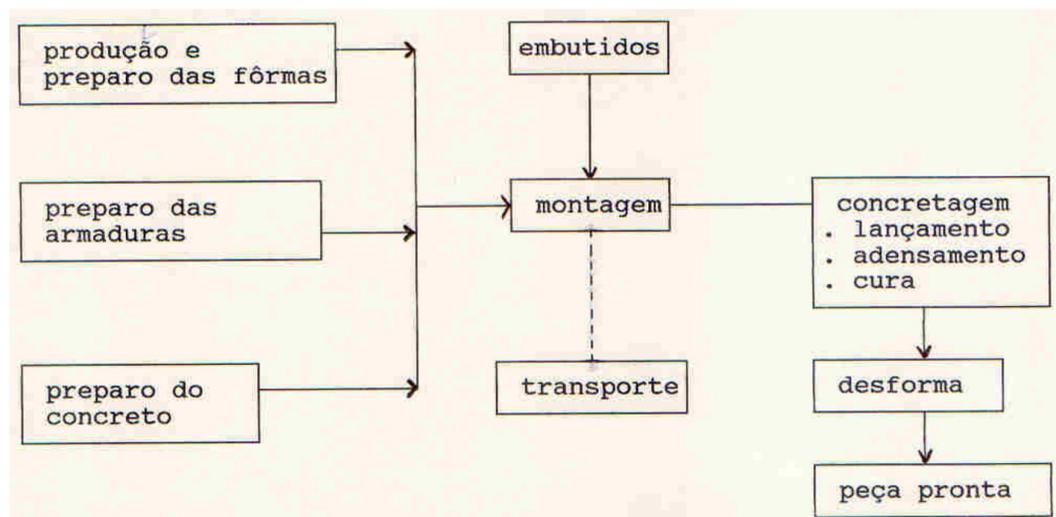


FIGURA 11 - ESQUEMA GENÉRICO DO FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO  
 FONTE: BARROS & MELHADO (2006)

De acordo com Fajersztain (1987), citado por Filho & Júnior (2008) conceitua-se sistema de fôrmas como a estrutura que atua no processo de moldagem e sustentação do concreto fresco até que o mesmo atinja resistência suficiente para suportar as cargas que lhes são submetidas, de maneira que as fôrmas estão ligadas diretamente ao bom desempenho de uma estrutura.

O concreto é moldável. Por isso, é necessário projetar a montagem dos moldes - chamados de fôrmas. As formas devem ser confeccionadas de maneira adequada, travadas, niveladas e escoradas, para que a estrutura de concreto tenha um bom desempenho evitando a ocorrência de deformações não previstas em projeto (o peso do concreto é duas vezes e meia maior que o da água) (BANET, 2011).

Segundo Souza (2007), os sistemas de fôrmas podem ser definidos como conjuntos de componentes que servem para moldar o concreto e sustentá-lo até que este adquira resistência suficiente. Servindo como molde do concreto fresco, as fôrmas desempenham importantíssimo papel quanto à obtenção de uma estrutura de concreto de qualidade; eventuais deformações excessivas ou falta de estanqueidade podem comprometer a resistência e durabilidade da estrutura, bem como ter consequências indesejáveis quanto à estética final pretendida. Enquanto sustentação do concreto, as fôrmas acabam por cumprir uma função de estrutura

provisória que tem de resistir a cargas do tipo: peso próprio e do concreto lançado, operários, vento, etc.

Segundo Assahi (2006), pode-se chamar de sistema de fôrma ao conjunto completo dos elementos que o compõem, incluindo-se: a própria fôrma, elementos de cimbramento, de escoramento remanescente, equipamentos de transporte, de apoio e de manutenção.

Para Assahi (2006), entende-se que qualidade é atender os clientes (internos e externos), a fôrma é, certamente, o de maior importância, pois, o desempenho dos demais subsistemas dependerá diretamente do seu resultado. O prumo, nível, alinhamento e esquadro das peças estruturais, que resultam da correta utilização da fôrma, são pré-requisitos básicos necessários para todos os demais subsistemas.

Segundo a CEHOP (2007), a fôrma é a única responsável pela geometria dos elementos estruturais. Além disso, uma grande parte das patologias observadas nos edifícios concluídos pode ter origem na fôrma. As frequentes trincas na estrutura ou na vedação podem ser consequências da deformação ou mobilidade excessiva da estrutura causada pela má utilização do sistema de fôrma, como também, pelo excesso de sobrecarga devido aos revestimentos e enchimentos não previstos decorrentes da correção de estrutura mal moldada. Até mesmo os vazamentos comuns causados pelas patologias nas instalações hidráulicas e das impermeabilizações podem ter origem no excesso de mobilidade da estrutura, consequência da utilização incorreta do sistema de fôrma.

#### 2.4.1 Sistema de fôrmas

Conforme Fajersztajn (1987), e com algumas adaptações feitas por Morikawa (2003), pode-se definir um sistema de fôrmas com a seguinte composição:

- Sistema de fôrmas: Conjunto de fôrmas utilizadas para moldar a estrutura de concreto armado do edifício.
- Elementos: São conjuntos de peças que exercem função determinada dentro do sistema de fôrmas (FIGURA 12). São classificados de acordo

com esta finalidade em: molde, estrutura do molde, escoramento e acessórios.



FIGURA 12 - EXEMPLO DE SISTEMA DE FÔRMAS E ELEMENTOS  
FONTE: MORIKAWA (2003)

- Molde: É o elemento que entra em contato direto com o concreto, definindo o formato e a textura a ser obtida (FIGURAS 13, 14 e 15).
- Estrutura do molde: É o elemento destinado a enrijecer o molde, garantindo que ele não se deforme quando submetido aos esforços originados pelas atividades de armação e concretagem (FIGURAS 13 e 14).

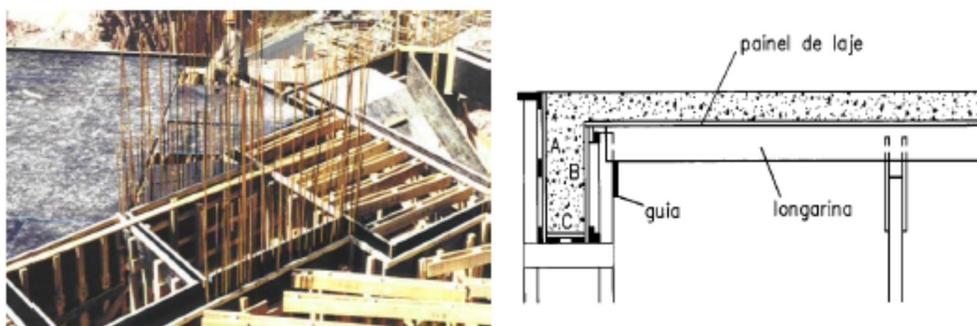


FIGURA 13 - EXEMPLO DE MOLDE E ESTRUTURA DE MOLDE DE LAJE E VIGA

FONTE: MORIKAWA (2003)

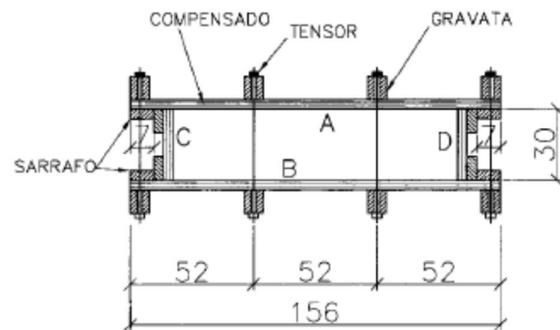


FIGURA 14 - EXEMPLO DE MOLDE E ESTRUTURA DO MOLDE DE PILAR  
FONTE: MORIKAWA (2003)

- Escoramento: É o elemento destinado a transmitir os esforços da estrutura do molde para algum ponto de suporte no solo ou na própria estrutura de concreto (FIGURA 15).

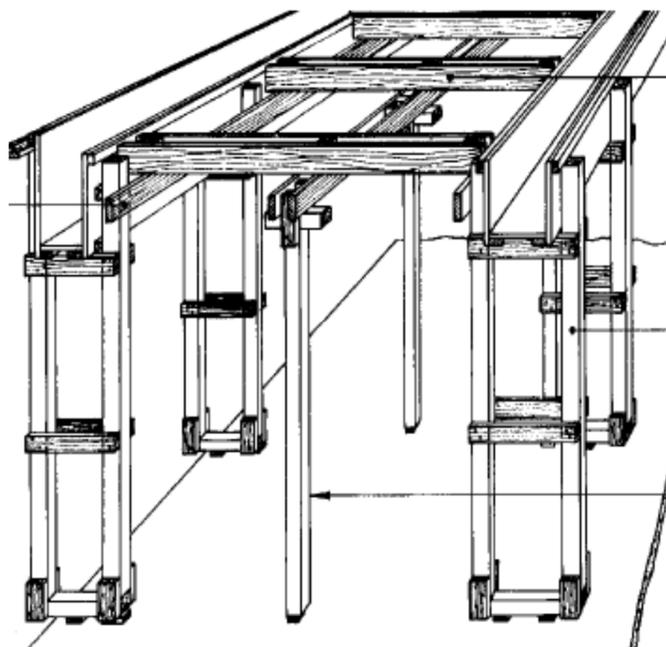


FIGURA 15 - EXEMPLO DE ESCORAMENTO DE MADEIRA  
 FONTE: MORIKAWA (2003)

- Acessórios: É o conjunto de peças complementares destinadas a completar os demais elementos na confecção das fôrmas. São classificados em separado, apesar de atuarem em funções específicas, seu fornecimento é feito por empresas independentes ou produzidos no canteiro de obra (FIGURA 16).

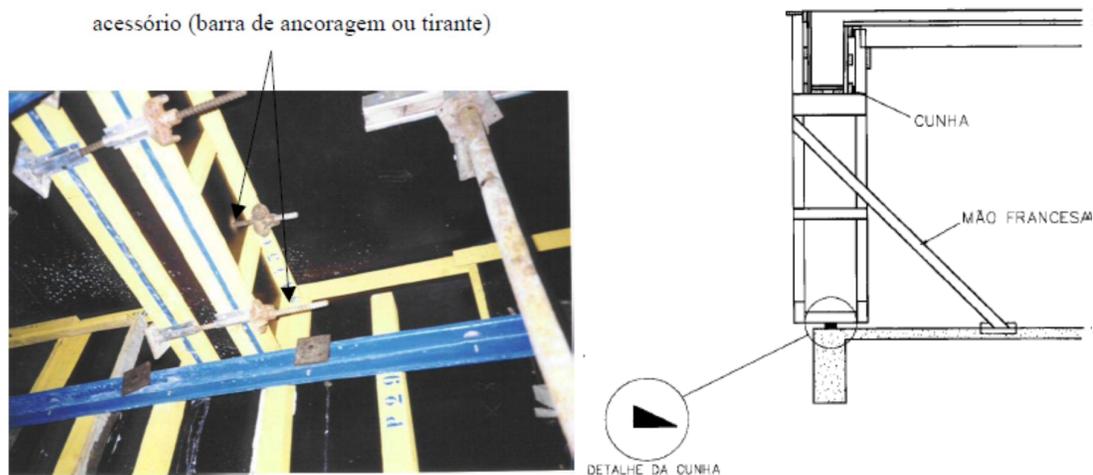


FIGURA 16 - DETALHES DE ACESSÓRIOS  
 FONTE: TAKAHASHA (1996)

- Componentes: São as diferentes peças que compõem os elementos. Em nível de peça pronta, se constituem na última composição das fôrmas.

#### 2.4.2 Fôrmas de madeira

Atualmente na construção civil as fôrmas de madeira são as mais utilizadas dentre os materiais que podem compor um sistema de fôrmas, por apresentarem características que atendem às especificações com o menor custo e normalmente são compostas de painéis de madeira compensada, tábuas e pontaletes (NAZAR, 2007).

As principais características físicas da madeira, importantes para o dimensionamento das fôrmas e para utilização na construção civil são: o teor de

umidade, a densidade, a retratibilidade, a resistência ao fogo, a durabilidade natural e a resistência química (FILHO & JUNIOR, 2008).

Segundo Filho & Júnior (2008), na execução das fôrmas é generalizado o emprego de madeira, que foi e continua sendo a matéria prima principal utilizada na fabricação dos moldes para concreto, embora alguns tipos de fôrmas empreguem outros tipos de materiais. Dentro dessa colocação, a grande transformação deu-se com a introdução das chapas de madeira compensada.

A madeira possui diversas propriedades, que a torna muito atraente frente a outros materiais, dentre essas, o baixo consumo de energia para seu processamento, a alta resistência específica, e as suas boas características, além de ser um material muito fácil de ser trabalhado manualmente ou por máquinas (CEHOP, 2007).

Calil Jr. (2005) diz que, quanto ao acabamento, as fôrmas devem ter texturas conforme as exigências de cada projeto, principalmente nas estruturas de concreto aparente, observando-se que a aderência deve ser a menor possível para facilitar a desfôrma. Os compensados são tratados com produto desmoldante, a fim de permitir a desfôrma sem danos para o concreto e as fôrmas, pois segundo Maranhão (2000), quanto ao acabamento da superfície, encontram-se chapas com as faces externas lixadas e com tratamento superficial; outras possuem uma película plástica nas lâminas externas, ou somente em uma. Os compensados resinados recebem em sua superfície a aplicação de uma resina fenólica líquida, que é estendida sobre a mesma. As laterais também recebem o mesmo material aplicado à superfície. Esse tipo de revestimento não sofre um processo de polimerização eficiente, e a proteção que oferece à chapa é bastante precária, já que a resina, aos poucos, durante os processos de concretagem, vai sendo retirada de sua superfície. Dessa forma, o número de reaproveitamentos de um mesmo painel fica reduzido (geralmente de 4 a 5 usos).

Os compensados plastificados recebem em sua superfície uma camada de resina fenólica sob a forma de filme (Tegofilme). As laterais são totalmente seladas com resina do tipo epóxi ou similar, à prova d'água. Dessa maneira, obtém-se um compensado com vida que atende a um determinado número de reaproveitamentos, além de contribuir para o bom acabamento da superfície do concreto. De acordo

com Boin (1993), podem chegar a 40 reaproveitamentos, dependendo da finalidade ou do tipo de estrutura que se pretende executar.

A deterioração do material é, na maioria das vezes, creditada somente à sua “má qualidade”, contudo isso também se deve aos danos causados durante as etapas de montagem, desmontagem, transporte e fatores de projetos e execução inadequados (CRITIANI, 1995).

#### 2.4.3 Fôrmas de madeira compensada

Segundo Morikawa (2003), com o aparecimento de sucessivos aperfeiçoamentos na aplicação de fôrmas, ocorreram preocupações quanto ao custo, rentabilidade e reaproveitamentos. A escassez da madeira e o custo elevado dos materiais tradicionais fazem com que o conceito de alternar ganhe o significado de procurar métodos e materiais que possam ser novas opções para a Construção Civil. Uma das vantagens a ser destacada é a melhoria no acabamento da superfície do concreto com o emprego, por exemplo, dos novos materiais aqui estudados.

Além disso, outras vantagens do painel compensado sobre a madeira sólida:

- Pode ser fabricada com maiores dimensões, com defeitos limitados;
- Tem resistência elevada na direção normal às fibras;
- Ocorre diminuição de trincas na cravação de pregos;
- O rendimento da tora na laminação é maior que no desdobro da madeira serrada;

A desvantagem dá-se no preço que é mais elevado (PFEIL & PFEIL, 2003). No caso da utilização de chapas é recomendável estudar o projeto de fôrmas a fim de otimizar o corte de maneira a reduzir as perdas. As bordas cortadas devem ser pintadas com tinta apropriada para evitar a infiltração de umidade e elementos químicos do concreto entre as lâminas, principal fator de deterioração das chapas.

Calil Jr. et al. (1998) dizem que, quanto ao acabamento, as fôrmas devem ter texturas conforme as exigências de cada projeto, principalmente nas estruturas de concreto aparente, observando-se que a aderência deve ser a menor possível para facilitar a desfôrma. Os compensados são tratados com produto desmoldante, a fim de permitir a desfôrma sem danos para o concreto e as fôrmas.

Para a CEHOP (2007) quando for usar painéis de chapas de compensados para moldar paredes, vigas altas, pilares de grandes dimensões e bases para assoalhados (lajes) será conveniente reforçar as chapas a fim de obter um melhor rendimento pelo aumento da inércia das chapas (FIGURA 17). Para isso pode-se utilizar reforços de madeira (ripamento justaposto), peças metálicas ou ainda sistemas mistos de peças de madeira e metálicas.

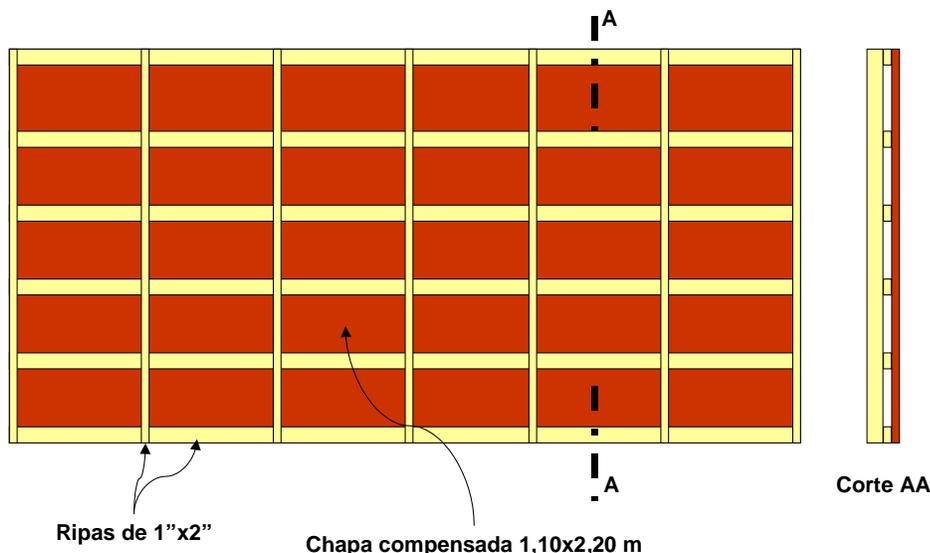


FIGURA 17 – EXEMPLO DE REFORÇO DAS FÔRMAS  
FONTE: ASSAHI (2006).

Segundo Banet (2007) citado por Filho & Júnior (2008), quanto ao acabamento da superfície das fôrmas de madeira compensada contém dois tipos de chapas no mercado: chapas plastificadas e chapas resinadas. As plastificadas podem ser reutilizadas 15 vezes, enquanto que as resinadas variam de 4 a 5 vezes.

Segundo a ABCP (1997), a execução de estruturas de concreto armado exige a confecção de fôrmas com dimensões internas exatamente iguais às das peças da estrutura projetada. Em geral, as fôrmas para estruturas de edifícios são executadas de acordo com a prática dos mestres de obra, este procedimento tem ocasionado muita diversidade de critérios na utilização do material; em algumas horas ocorre o excesso, e em outras, há deficiência, acarretando prejuízo à resistência das peças da estrutura, e conseqüentemente deformação das fôrmas.

Para Almeida Jr. (1996), a uniformidade das espécies e dimensões das madeiras usadas, da nomenclatura e dimensões das peças que compõem as

fôrmas, e tabelas confiáveis, é vantajosa, pois facilita a fiscalização do consumo da madeira na obra.

Conforme Maranhão (2000), as fôrmas de concreto devem apresentar resistência suficiente para suportar cargas provenientes de seu próprio peso, do peso e empuxo lateral do concreto, do adensamento, do trânsito de pessoas e equipamentos; rigidez suficiente para manter as dimensões e formas previstas no projeto estrutural. Sua estabilidade deve ser garantida utilizando-se suportes e contraventamentos.

As ferramentas utilizadas por profissionais (carpinteiro) para a execução de fôrmas são: martelo de carpinteiro, prumo, serrote, linha, mangueira de nível e uma bancada com serra para confecção das fôrmas (BANET, 2007).

Numa composição de custos de uma estrutura, o item fôrmas, segundo Ripper (1996), o custo é de 45%, enquanto que Almeida Prado (1999) indicam que esse percentual pode variar de 33 a 60% e Maranhão (2000) entre 40 e 60 % do custo total da estrutura de concreto armado. Em média 60% das horas gastas para moldar a estruturas são utilizadas para as fôrmas, 25% para o lançamento e armação e 15 % para concretagem.

Para Assahi (2006), o custo da estrutura de empreendimento predial de porte médio (p.ex: 2 Subsolos, Térreo e 15 pavimentos tipos) representa algo em torno de 20 %, e o da fôrma, entre 25% a 40 % da estrutura, equivalente a 5% a 8 % do custo total. A variação deve-se a vários fatores, sendo os principais:

- Sistema de fôrma adotado.
- Número de reaproveitamento dos materiais, potencializado ou minimizado pela definição arquitetônica ou pelo partido estrutural adotado.
- A produtividade da equipe de mão-de-obra, sendo o custo da mão-de-obra o fator de maior variabilidade, responsável por 50% a 70% do item.
- Prazo de execução, influenciando diretamente a produtividade e o custo dos equipamentos locados.

O custo da fôrma merece atenção especial devido sua representatividade (FIGURA 18). Torna-se, na maioria das vezes, o único fator significativo de

competitividade na execução de estrutura, uma vez que os itens armação e concreto são pouco variáveis, independentes da metodologia de execução (NAZAR, 2007).

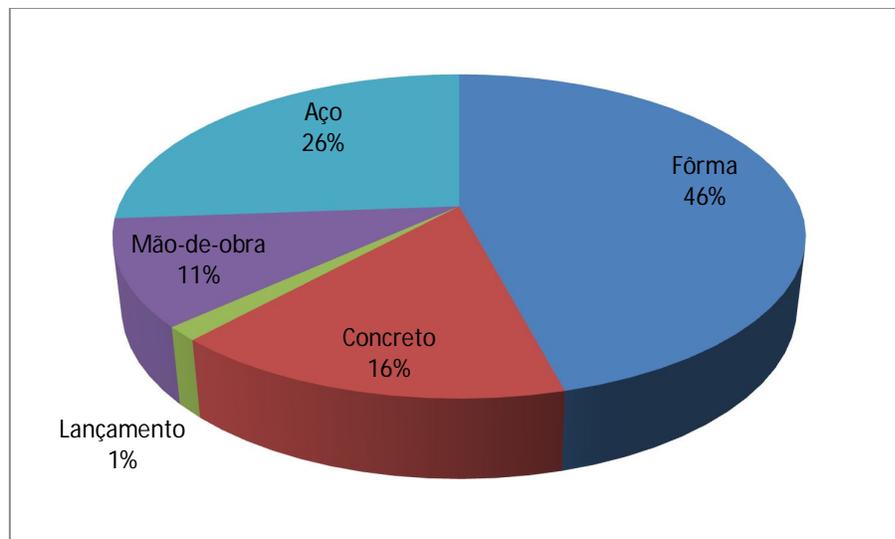


FIGURA 18 – PORCENTUAL DO CUSTO DA ESTRUTURA DE UM PAVIMENTO  
FONTE: NAZAR (2007)

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ESTUDO PRELIMINAR

Vislumbrando atingir os objetivos deste trabalho, inicialmente foi realizado um estudo com todos os envolvidos na cadeia de produção do compensado plastificado, desde os fabricantes, fornecedores de insumo e clientes do produto, além da entidade de classe do setor de madeira processada mecanicamente.

A ABIMCI, que congrega dentro do seu quadro de associados os produtores de compensado com parcela significativa do total da produção nacional, assim como os principais fornecedores de compensado plastificado, repassou inúmeras informações sobre o setor, envolvendo principalmente dados estatísticos referentes a produção e consumo nacional, principais produtores de compensado plastificado, empresas que migraram para este produto após a crise econômica mundial de 2008 e fornecedores de matéria-prima para a produção do compensado.

Através do contato disponibilizado pela ABIMCI, foi possível realizar visitas à algumas empresas especializadas na produção do compensado plastificado. A primeira empresa visitada foi a Industrial Madeireira S/A – Vimasa, localizada em Videira – SC, que está a mais de 60 anos no mercado (FIGURA 19).

A empresa fabrica há alguns anos o compensado plastificado, importando uma parcela de seu filme fenólico e comprando outra parte do mercado interno. Além do plastificado a empresa produz também o compensado de pinus tradicional, compensado twin (com capa, contracapa e miolo longo de madeira tropical e miolo curto de pinus) e compensado combi (capa e contracapa de tropical e miolo de pinus). A empresa trabalha com diversas espessuras de painéis e número de camadas. O produto da Vimasa é certificado pelo PNQM, e até 2010 teve a certificação CE Marking 2+ (Compensado para uso estrutural), por exportar parcela significativa de sua produção.

A empresa possui laboratório próprio e realiza periodicamente os ensaios exigidos pelo PNQM e CE Marking para seus produtos. Prezando pela qualidade, a empresa realiza outros ensaios para verificar critérios de aceitação específicos de acordo com as exigências dos clientes.



FIGURA 19 – LINHA DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL MADEIREIRA S/A

Nota: A) Classificação das lâminas; B) Bolachadeira; C) Filme fenólico importado; D) Secagem de lâminas; E) Filme fenólico exclusivo da empresa; F) Prensagem do filme fenólico com chapas de aço.

FONTE: O autor (2011)

O sistema produtivo da empresa envolve desde o cozimento e laminação, até a placagem separadamente do filme fenólico. Juntamente com os pratos da prensa, são colocadas placas de aço inoxidável para melhorar os parâmetros de prensagem. Com todo o conhecimento prático decorrente de anos de fabricação, o proprietário da fábrica passou informações relevantes sobre a produção de seu compensado destinado ao uso como fôrmas.

Outra empresa visitada foi a Formaplan – Fôrmas Planejadas Ltda., localizada em União da Vitória – PR (FIGURA 20). Dentre seus produtos, a empresa trabalha especialmente com compensado plastificado destinado à construção civil, além de compensado resinado e compensado naval. Grande parcela de sua produção é destinada à outra unidade da empresa, localizada no estado de São Paulo, que trabalha com o planejamento e execução dos projetos de fôrmas para concreto.

A empresa também trabalha desde a laminação até a placagem do filme fenólico, e recentemente adquiriu novos equipamentos para sua linha de produção, dentre eles um secador e uma prensa automática para a placagem do filme fenólico (esta prensa já possui as placas de aço soldadas nos pratos da prensa).

A Formaplan, assim como a Industrial Madeireira, possui certificação de seus produtos através da ABIMCI, com o selo do PNQM para o mercado nacional, seguindo todos os parâmetros exigidos e critérios de aceitação para o Programa de Qualidade, como descrito no Anexo A deste trabalho, e realiza ensaios periódicos para comprovar a qualidade de seus produtos.

Ambas as empresas entrevistadas seguem as normas nacionais da ABNT para produção de compensado, que são descritas abaixo:

- NBR ISO 1096 – Madeira Compensada – Classificação;
- NBR ISO 1098 – Compensado laminado para uso geral – Requisitos gerais;
- NBR ISO 1954 – Madeira Compensada – Tolerâncias dimensionais;
- NBR ISO 2074 – Madeira Compensada – Vocabulário;
- NBR ISO 12466-1 – Qualidade de colagem – Parte 1: Métodos de ensaio;
- NBR ISO 12466-2 – Qualidade de colagem – Parte 2: Requisitos;

- NBR ISO 2426-1 – Madeira Compensada – Classificação pela aparência superficial – Parte 1: Geral;
- NBR ISO 2426-2 – Madeira Compensada – Classificação pela aparência superficial – Parte 2: Folhosas;
- NBR ISO 2426-3 – Madeira Compensada – Classificação pela aparência superficial – Parte 3: Coníferas.

Além destas, as outras normas que regem os painéis de madeira compensada são:

- NBR 9484 – Compensado – Determinação do teor de umidade;
- NBR 9485 – Compensado – Determinação da massa específica aparente;
- NBR 9486 – Compensado – Determinação da absorção de água;
- NBR 9488 – Amostragem de compensados para ensaio;
- NBR 9489 – Condicionamento de corpos-de-prova de compensados para ensaio;
- NBR 9533 – Compensado – Determinação a resistência à flexão estática;
- NBR 9535 – Compensado – Determinação do inchamento.

Seguem também as normas europeias para qualidade que são da série EN 300, e de qualidade de colagem que são EN 314-1 e EN 314-2.

A Formaplan trabalha com filme fenólico fornecido pela Coveright Surfaces do Brasil, fabricado exclusivamente para a Formaplan de acordo com as exigências da empresa.

Em seguida foi realizada uma visita na Coveright Surfaces do Brasil, localizada em São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba – PR. A Coveright trata-se de uma multinacional especializada na fabricação de filmes e texturas para acabamentos em painéis de madeira e para outros materiais. Além da unidade no Brasil, a empresa também conta com unidades na Alemanha, Espanha, França, Estados Unidos e outros países.

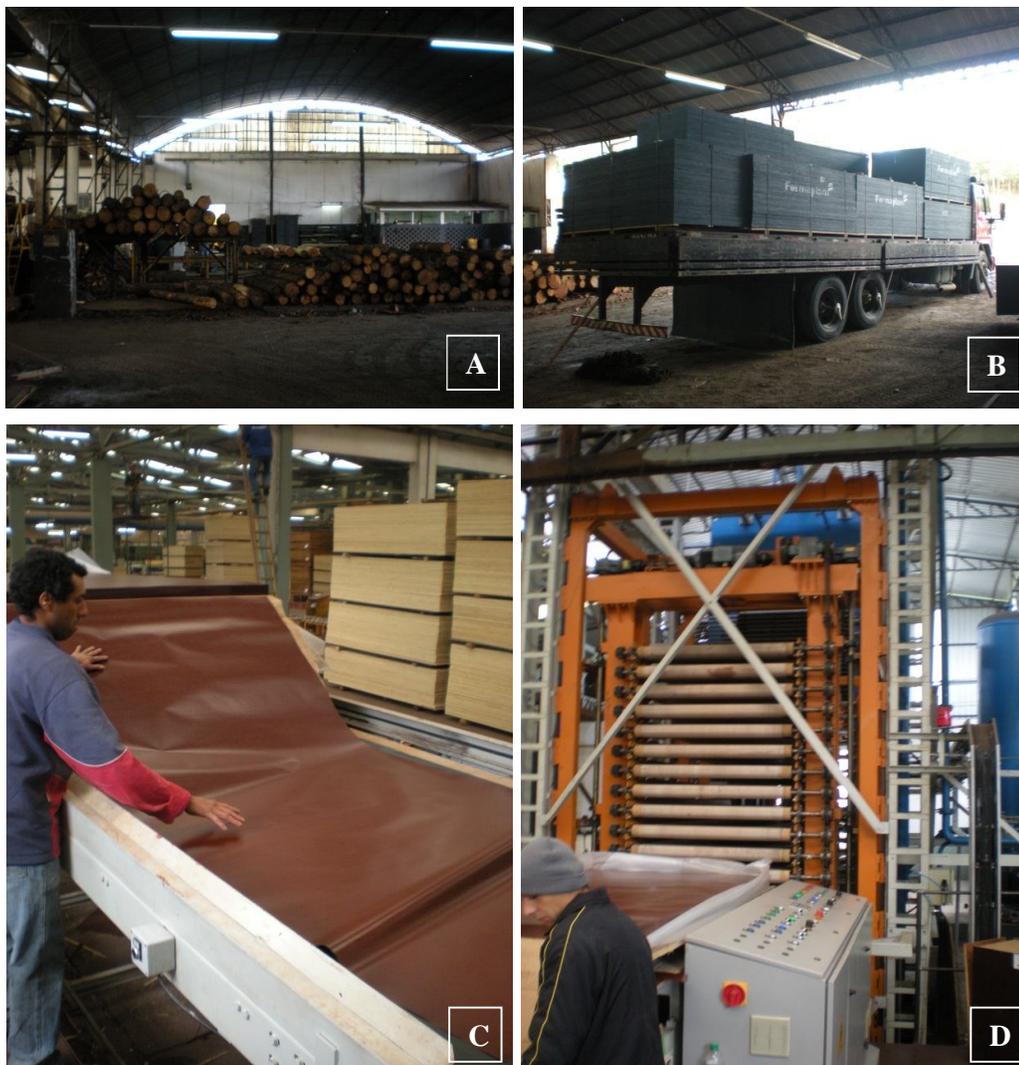


FIGURA 20 – LINHA DE PRODUÇÃO FORMAPLAN – FÔRMAS

Nota: A) Pátio de toras; B) Expedição das chapas finalizadas; C) Aplicação do filme fenólico; D) Prensa automática para placagem do filme fenólico.

FONTE: O autor (2011)

A unidade brasileira fábrica papel melaminico com destinação principal para as fábricas de MDF, que utilizam este papel nos revestimentos dos painéis. A unidade importa também o filme fenólico da sua unidade alemã, e revende no mercado nacional devido à grande demanda, por parte dos produtores de compensado brasileiros, que utilizam este tipo de revestimento.

A empresa disponibiliza também a seus clientes uma assistência técnica especializada, para a implantação e manutenção da utilização do filme fenólico nas fábricas. Além disso, conta com laboratório próprio, onde emite laudos sobre os

produtos de clientes, e dos filmes desenvolvidos para seus clientes provenientes da Alemanha.

Outro contato importante para a primeira abordagem sobre o compensado plastificado foi o cliente final. Através da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABPC foi possível esclarecer as necessidades dos compradores, focando principalmente na qualidade final e do número de reutilizações do produto. Além da notoriedade do planejamento e execução das fôrmas junto ao cronograma e orçamento da obra.

### 3.2 PLANO DE TRABALHO

Com base no estudo preliminar realizado e com todas as informações coletadas, foi estabelecido que devido às inúmeras variáveis existentes no processo de fabricação do compensado tradicional, estas não seriam objetivos de estudos desta dissertação.

Além destas, as variáveis relacionadas à fabricação e manutenção das fôrmas de concreto também não seriam levadas em conta, visto que cada construtora utiliza um método de fabricação, possuem funcionários diferentemente capacitados para trabalhar com as fôrmas e isto influenciaria diretamente no estudo em questão.

A ideia estabelecida então foi avaliar exclusivamente as variáveis do processo que interferem diretamente no processo de fabricação do compensado plastificado, ou seja, o processo de ancoragem do tegofilme na chapa de compensado, ou em outras palavras, na placagem.

Em seguida foram definidos os parâmetros a serem avaliados na placagem do filme fenólico, conforme apresentado na TABELA 6, quais os ensaios a serem realizados, assim como o número de corpos de prova por painel para todos os ensaios e confecção destes.

A próxima etapa foi definir, com base nos dados coletados, o material a ser utilizado. Para a chapa de compensado foi considerado a espessura e número de lâminas padrão e mais comercializado como fôrmas de concreto para construção civil. O painel compensado escolhido foi de 18 mm, 9 lâminas, espécie *Pinus sp.*, colagem fenólica, esquadrejados e lixados, prontos para receber o filme fenólico. Os

painéis foram retirados aleatoriamente da linha de produção e doados pela Formaplan – Formas Planejadas Ltda., na quantidade de 6 painéis com dimensões de 2,44m x 1,22m.

Com relação ao filme fenólico foram escolhidas 3 gramaturas representativas, com valores próximos ao mínimo (TPS 384), médio (TPS 558) e máximo (TPS 758) disponíveis pelos fabricantes. O tegofilme TPS 384 possui gramatura de 120 g/m<sup>2</sup>, e é o filme fenólico mais comum e comercializado no Brasil, atingindo quase 95% das vendas da Coveright. O TPS 558 possui gramatura de 165 g/m<sup>2</sup>, e é um filme bastante comercializado na América do Sul, principalmente para a Argentina. O filme com maior gramatura escolhido foi o TPS 758 de 215 g/m<sup>2</sup>. Todos estes filmes foram selecionados pela sua representatividade nas vendas e doados pela Coveright Surfaces do Brasil.

As placas de aço inoxidável (FIGURA 21) foram compradas juntas a Piergo Indústria e Comércio de Aço Ltda., localizada em Curitiba – PR. As 4 chapas utilizadas em revezamento possuíam 2 mm de espessura e dimensões de 60 x 60 cm, definidas em função da área dos pratos da prensa usada do Laboratório de Painéis de Madeira – UFPR.



FIGURA 21 – FÔRMAS DE AÇO INOXIDÁVEL PARA PLACAGEM

Nota: A) Placas utilizadas para ancoragem do filme fenólico; B) Detalhe da chapa de 60 x 60 cm.

FONTE: O autor (2011)

### 3.3 MANUFATURA DO COMPENSADO PLASTIFICADO

A seguir são descritas as etapas de manufatura dos compensados plastificados para realização dos ensaios.

### 3.3.1 Preparação das placas para revestimento

A Formaplan – Fôrmas Planejadas Ltda, forneceu 6 chapas de compensados com dimensões de 2,44 x 1,22 m, com 18 mm de espessura e 9 camadas de composição. As chapas foram entregues por uma transportadora contratada que trouxeram adequadamente as chapas para o Laboratório de Usinagem de Madeira - UFPR, para não danificá-las, já que qualquer defeito na superfície da chapa, acaba sendo fotografado no filme fenólico quando o mesmo é prensado.

De cada painel foram retiradas 8 placas com dimensões de 50 x 50 cm para a placagem, totalizando 48 placas que foram prensadas (baseado no delineamento apresentado a seguir). As peças restantes dos painéis ficaram como reserva para no caso de qualquer problema com a placagem das placas confeccionadas.

### 3.3.2 Delineamento Experimental

De acordo com os objetivos propostos neste estudo, o delineamento experimental é apresentado na TABELA 6. Todos os tratamentos foram produzidos utilizando as condições apresentadas com 2 repetições por tratamento.

As variáveis do processo foram previamente estabelecidas com base nas informações coletadas no estudo preliminar. As variáveis avaliadas foram: gramatura do filme fenólico, pressão específica, temperatura de prensagem, e tempo de prensagem.

No delineamento experimental realizado são considerados dois valores para as variáveis, com exceção da gramatura, que foram três filmes, como supracitado.

### 3.3.3 Colagem do filme fenólico

Com todas as placas cortadas, o filme fenólico e as chapas de aço prontas, foi realizado a placagem do filme fenólico nos painéis, ilustrado na FIGURA 23.

TABELA 6 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Tratamento	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Pressão Específica (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tempo de prensagem (min)	Repetições
T1	120	130	16	6	2
T2	120	130	16	8	2
T3	120	130	18	6	2
T4	120	130	18	8	2
T5	120	140	16	6	2
T6	120	140	16	8	2
T7	120	140	18	6	2
T8	120	140	18	8	2
T9	165	130	16	6	2
T10	165	130	16	8	2
T11	165	130	18	6	2
T12	165	130	18	8	2
T13	165	140	16	6	2
T14	165	140	16	8	2
T15	165	140	18	6	2
T16	165	140	18	8	2
T17	215	130	16	6	2
T18	215	130	16	8	2
T19	215	130	18	6	2
T20	215	130	18	8	2
T21	215	140	16	6	2
T22	215	140	16	8	2
T23	215	140	18	6	2
T24	215	140	18	8	2
<b>TOTAL</b>					<b>48</b>



**FIGURA 22 – PROCESSO DE PRODUÇÃO DO COMPENSADO PLASTIFICADO**

Nota: A) Filme fenólico; B) Colocação do Tegofilme; C) Prensa utilizado; D) Carregamento da prensa; E) Prensagem; F) Compensado plastificado.

FONTE: O autor (2011)

### 3.4 ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO REVESTIMENTO

Após a placagem foram retirados os corpos-de-prova, sendo que de cada placa foram confeccionados dois corpos-de-prova de 10 x 10 cm para o teste de abrasão (FIGURA 23), e um corpo-de-prova de 15 x 15 cm para os ensaios de absorção de vapor e cura.

Após a confecção dos corpos-de-prova, foram realizadas as devidas identificações e a verificação das dimensões. Este procedimento foi feito com lápis-cópia resistente a umidade para garantir que a identificação não fosse apagada.



FIGURA 23 - CORPOS-DE-PROVA PARA O ENSAIO DE ABRASÃO  
FONTE: O autor (2011)

Os tipos de ensaios realizados nos corpos-de-prova foram baseados nos critérios de aceitação apresentados no certificado de análise emitido pelo fornecedor do filme fenólico para seus clientes.

Os ensaios foram realizados com base nos procedimentos de qualidade do laboratório da Coveright Surfaces do Brasil, disponível e executado por todas as unidades do grupo.

#### 3.4.1 Inspeção Visual

Foram realizados diretamente nas chapas de 50 x 50 cm, utilizando apenas como material uma luminária, para assegurar as condições de luminosidade e clareza da superfície.

As amostras receberam luminosidade e então foram avaliados aspectos como diferenciação de cor, formação de bolhas, qualidade do substrato e de distribuição de resina, sendo classificado como boa ou ruim.

### 3.4.2 Cura

Este ensaio foi realizado para determinar o grau de cura do filme fenólico prensado, quantificando o ataque de uma solução. Para isto foram utilizados os corpos-de-prova de 15 x 15 cm, do ensaio de absorção de vapor.

Como materiais, foram utilizados soluções de Hidróxido de Sódio 0,2N, Dimetil Sulfóxido, frascos de vidro transparentes, papel toalha, cronômetro e pipeta graduada de 10 mL.

Foram verificadas em seguida as condições da superfície da placa, se a mesma estava seca e limpa. Com o auxílio da pipeta foi colocado no frasco de vidro, 20 mL de Hidróxido de Sódio 0,2N e 20 mL de Dimetil Sulfóxido. Em seguida o frasco foi colocado em contato com a superfície da chapa e cronometrado 24 horas.

Transcorrido este tempo, foram retirados os frascos, os painéis limpos com água e secos cuidadosamente com o papel toalha.

Para estabelecer o grau de cura do filme fenólico, é avaliada a coloração da solução do frasco, conforme ilustrado na FIGURA 24. No caso da solução continuar incolor trata-se de super cura. Quando a solução tornar-se de coloração levemente laranja/amarela, houve cura. Ao tornar-se laranja amarronzada, infra cura.

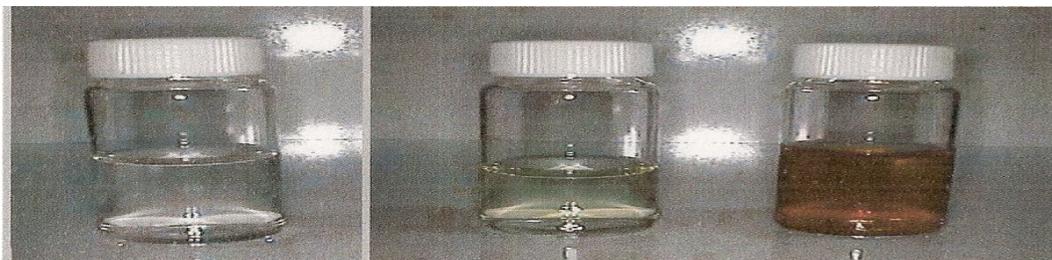


FIGURA 24 - EXEMPLO DE INSPEÇÃO VISUAL ATRAVÉS DA COLORAÇÃO  
FONTE: O autor (2011)



FIGURA 25 – ENSAIO DE CURA DO FILME FENÓLICO

Nota: A) Material para solução; B) Vidraria com solução; C) Posicionamento da vidraria; D) Detalhe do resultado incolor; E) Corpos-de-prova em testes; F) Resultado do ensaio após 24 horas.

FONTE: O autor (2011)

### 3.4.3 Abrasão

O método de avaliação da abrasão tem como objetivo determinar a capacidade da superfície, no caso o filme fenólico, de manter a cor quando submetido à ação de tiras abrasivas.

O procedimento foi realizado no laboratório da Coveright Surfaces do Brasil, já que a empresa possui o Aparelho chamado TABER Test, gentilmente emprestado para realizar o trabalho. Além do aparelho, foram utilizados as tiras abrasivas S42, Rebolos S-32/CS-0, Aspirador de pó, e as placas de compensado plastificado de 10 x 10 cm.

Os corpos-de-prova foram divididos em quatro quadrantes, com a intenção de verificar melhor quando os quadrantes terão 50% de sua superfície comprometida devido ao desgaste provocado pelas tiras abrasivas.

As tiras abrasivas são colocadas nas rodas de borracha do equipamento e fixadas por parafuso. Em seguida o equipamento é ligado e permanece até que 50% da chapa de madeira possa ser vista, e então é anotado o número de ciclos. As tiras abrasivas devem ser trocadas a cada 500 ciclos completados.

O aspirador de pó que é conectado ao TABER Test, serve para retirar o pó gerado no processo abrasivo e para que o mesmo não impregne nas tiras abrasivas e tornando-as menos ásperas (FIGURA 26).



FIGURA 26 – ENSAIO DE ABRASÃO

Nota: A) Início do ensaio; B) Ensaio de abrasão; C) Detalhe do aspirador de pó; D) Detalhe do painel do equipamento.

FONTE: O autor (2011)

### 3.4.4 Absorção de vapor

Este ensaio verificou o acréscimo em massa, através de um filme fenólico pela passagem de vapor. Foi utilizado uma chapa de aquecimento, erlemneyer de 500 mL, balança analítica de precisão, água, papel toalha e os corpos-de-prova de 15 x 15 cm, além de um cronômetro.

Após verificar se a amostra está limpa e seca, a mesma foi pesada (A em g) em uma balança analítica. Enquanto isto, um erlemneyer (com raio de boca R) deve ser colocado na chapa de aquecimento com temperatura de 100°C com 500 mL de água. Quando a água começar a ferver, a chapa então é colocada sobre o erlemneyer. Após uma hora, a amostra é então retirada, seca e pesada novamente (B em g), voltando na sequencia a ficar sobre a vidraria (FIGURA 27).

Após mais uma hora sobre o vapor, e chapa deve seca novamente e deve ser repetida a pesagem (C em g). A inspeção visual deve ser feita na amostra como supracitado. Os cálculos para absorção de água são:

- Absorção de vapor em 1 hora (AV1H):  $AV1H = \frac{B - A}{r^2 \pi}$

- Absorção de vapor em 2 horas (AV2H):  $AV2H = \frac{C - A}{r^2 \pi}$



FIGURA 27 – ENSAIO DE ABSORÇÃO DE VAPOR

Nota: A) Ensaio de absorção de vapor; B) Detalhe do ensaio em agitador magnético.

FONTE: O autor (2011)

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a interpretação dos resultados, foi realizada a análise estatística. Foi utilizada a análise de variância com quatro fatores (gramatura, temperatura, pressão e tempo) para as variáveis resposta valor de resistência à abrasão, absorção de vapor em 1 hora (AV1), e valor de absorção de vapor em 2 horas (AV2).

Ao se analisar as variáveis resposta em sua escala original, procedeu-se com a análise de resíduos para verificação das pressuposições de normalidade, através do teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade de variâncias, através do teste de Bartlett. Foi verificado que todas as variâncias das amostras analisadas, associadas às variáveis de respostas e proveniente dos diferentes tratamentos, apresentavam-se homogêneas.

Foram consideradas interações de ordens 2, 3 e 4 entre os fatores. Em um segundo momento através da análise de correlação, foi verificado se essas variáveis resposta se correlacionam.

Todos os testes foram aplicados ao nível de 95% de significância e as análises foram realizadas no software estatística R (R Development Core team, 2011).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 INSPEÇÃO VISUAL

Os ensaios qualitativos de inspeção visual apresentaram resultados satisfatórios para todos os tratamentos, conforme os dados apresentados na TABELA 7. Não houve diferenciação de cor do filme fenólico, bem como formação de bolhas na superfície do tegofilme. A qualidade em termos de aderência do filme fenólico sobre o substrato foi adequada com distribuição homogênea de resina. Todas as amostras foram classificadas como boas.

TABELA 7 – RESULTADOS DO ENSAIO DE INSPEÇÃO VISUAL

Tratamento	Inspeção Visual Boa	Inspeção Visual Ruim
T1	100%	0%
T2	100%	0%
T3	100%	0%
T4	100%	0%
T5	100%	0%
T6	100%	0%
T7	100%	0%
T8	100%	0%
T9	100%	0%
T10	100%	0%
T11	100%	0%
T12	100%	0%
T13	100%	0%
T14	100%	0%
T15	100%	0%
T16	100%	0%
T17	100%	0%
T18	100%	0%
T19	100%	0%
T20	100%	0%
T21	100%	0%
T22	100%	0%
T23	100%	0%
T24	100%	0%

FONTE: O autor (2012)

As variáveis do processo de placagem não afetaram a qualidade visual das placas para todos os diferentes tratamentos avaliados. Segundo a classificação emitida no certificado de análise do fabricante, todas as placas estariam aptas e em condições adequadas para comercialização.

As interações entre as variáveis para o processo de ancoragem do filme fenólico no compensado não influenciaram nos resultados para o ensaio de inspeção visual do compensado plastificado.

Os resultados obtidos nestes ensaios indicam principalmente a qualidade do acabamento proporcionado pelo compensado plastificado para concreto armado de uso aparente. Além disso, imperfeições no acabamento superficial da chapa plastificada podem ocasionar maior absorção de umidade, e conseqüentemente redução no número de reutilizações da mesma, visto que a umidade excessiva acaba danificando as fôrmas de concreto.

Guimarães (2005) afirma que a qualidade final do concreto aparente é determinada em função das condições dos referidos processos, das características das fôrmas, da disposição e densidade de armadura, da técnica a ser utilizada, da geometria da peça estrutural, do tipo de acabamento especificado e principalmente das características de integridade superficial da fôrma.

Segundo Ribeiro (2010), um dos defeitos do concreto é a irregularidade de sua superfície, muitas vezes ocasionadas na execução do concreto da qualidade superficial da fôrma de concreto.

As fôrmas utilizadas na execução de concreto aparente requerem atenção especial por influírem diretamente na qualidade final do produto, devendo ser uniformes, regulares, estanques e com superfície bem acabada (RIBEIRO, 2010).

Com base nas referências supracitadas, ambas denotam para o aumento os custos relativos à obra. Uma vez que o número menor de reutilizações encarece o orçamento, já que serão necessárias novas fôrmas para continuar os trabalhos de concretagem.

Já uma boa qualidade do acabamento do concreto proporcionada por um painel compensado sem defeitos em sua superfície, também reduz custos com reparos e outros acabamentos adicionais, como massa corrida e pinturas, nos casos de obras que não exigem tal acabamento.

Todos os tratamentos realizados nos painéis produzidos em laboratório obtiveram resultados para ensaio de inspeção visual semelhantes aos compensados plastificados produzidos pelas empresas Formaplan e Vimasa. Os tratamentos apresentaram condições visuais boas, assim como os resultados dos ensaios das empresas, que fornecem ao mercado produtos sem bolhas na superfície, boa

qualidade de aderência do filme fenólico ao substrato, distribuição homogênea de resina e sem diferenciação de cor do filme fenólico.

#### 4.2 CURA

Os resultados dos ensaios de cura do filme fenólico estão apresentados na TABELA 8.

TABELA 8 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CURA

<b>Tratamento</b>	<b>Super Curado</b>	<b>Curado</b>	<b>Infra Curado</b>
T1	100%	0%	0%
T2	100%	0%	0%
T3	75%	25%	0%
T4	100%	0%	0%
T5	100%	0%	0%
T6	100%	0%	0%
T7	100%	0%	0%
T8	100%	0%	0%
T9	100%	0%	0%
T10	100%	0%	0%
T11	75%	25%	0%
T12	100%	0%	0%
T13	100%	0%	0%
T14	100%	0%	0%
T15	100%	0%	0%
T16	100%	0%	0%
T17	100%	0%	0%
T18	100%	0%	0%
T19	75%	25%	0%
T20	100%	0%	0%
T21	100%	0%	0%
T22	100%	0%	0%
T23	100%	0%	0%
T24	100%	0%	0%

FONTE: O autor (2012)

Segundo Silva (2008), atualmente, a demanda por qualidade de acabamento, precisão e cura de filmes fenólicos, em diversos setores de aplicação são requisitos fundamentais.

As avaliações comparativas com o certificado de análise do fornecedor do filme fenólico, indicam que todas as placas revestidas nas condições experimentais desta pesquisa estão adequadas para serem comercializadas, visto que a parcela significativa das amostras teve como resultado a definição de super curado (FIGURA 28).



FIGURA 28 – RESULTADO PARA CURA DO UNIVERSO AMOSTRAL  
FONTE: O autor (2012)

Apenas três tratamentos apresentaram em 25% de seus resultados a definição de curado. Este resultado apesar de ser inferior ao resultado anterior ainda é adequado para comercialização das chapas, visto que mesmo havendo uma pequena descoloração do filme fenólico, a mesma não influenciará na qualidade do produto final.

As chapas que apresentaram amostras com resultado “curado” para este ensaio foram os tratamentos T3, T11, e T19. A única variação entre estes tratamentos foram as gramaturas, que foram respectivamente, 120, 165 e 215 g/m<sup>2</sup>. As outras variáveis destes tratamentos foram temperatura de 130°C, pressão específica de 18 kgf/cm<sup>2</sup> e tempo de prensagem de 6 minutos

As demais interações entre as variáveis não proporcionaram resultados diferentes. Os efeitos de aumento de uma das variáveis com as demais variáveis mantidas constantes não influenciaram nos resultados deste ensaio, por exemplo, entre os tratamentos T1 e T2 (gramatura de 120 g/m<sup>2</sup>, temperatura de 130°C e pressão específica de 16 kgf/cm<sup>2</sup>), houve aumento no tempo de prensagem de 6 para 8 minutos, sem influencia nos resultados.

Os resultados demonstraram que a temperatura teve pouca influência na cura do filme fenólico, entretanto a relação entre pressão e tempo de prensagem mostraram-se mais relevantes, já que nos tratamentos com o acréscimo de tempo

de prensagem mantendo a mesma pressão, os resultados voltaram a ser mais satisfatórios.

Outra relação importante destes resultados é que a gramatura do filme fenólico não influenciou para os resultados de cura, mesmo a menor gramatura apresentou valores adequados para o ensaio.

Na execução do concreto aparente a cura deve ser adequada, considerando que água parada ou corrente podem afetar a cor do concreto, filmes plásticos podem causar manchas, e curas químicas podem descolorir (RIBEIRO, 2011).

Não houve chapas com o resultado de infra curado, comprovando que os parâmetros utilizados na prensagem foram adequados e proporcionaram uma boa cura do filme fenólico, conforme já citado pela COVERIGHT (2011).

Todos os resultados obtidos com os tratamentos realizados em laboratório foram semelhantes aos resultados obtidos pela empresa Industrial Madeireira S/A, que realizou ensaios de cura para o mesmo produto no laboratório da Coveright nas unidades da Suécia e Brasil, obtendo resultados de super curado e curado.

#### 4.3 ABRASÃO

Os resultados dos ensaios de abrasão do filme fenólico são apresentados na TABELA 9.

Ao se analisar a abrasão em sua escala original, procedendo com a análise de resíduos para verificação das pressuposições de normalidade e homogeneidade de variância, verificou-se, através do teste de Shapiro-Wilk ( $p$ -valor=0,9426), que os resíduos são normalmente distribuídos, e, pelo teste de Bartlett ( $p$ -valor=0,1028), verifica-se que os tratamentos possuem variâncias homogêneas.

Ao nível de significância de 5%, os fatores Gramatura e Temperatura se mostraram significativos com relação à abrasão dos compensados de madeira. Uma interação de ordem 2 (Temperatura:Pressão) e três interações de ordem 3 (Gramatura :Temperatura : Tempo, Gramatura :Pressão : Tempo e Temperatura : Pressão : Tempo) mostraram-se significativas, indicando que os efeitos dos fatores compreendidos em tais interações devem ser avaliados conjuntamente, e não separadamente, conforme segue apresentado.

TABELA 9 - RESULTADOS DO TESTE DE ABRASÃO

Fonte de variação	Graus de liberdade	Somas de quadrados	Quadrados médios	Valor F	Valor p
Gramatura	2	408948	204474	1173,661	<0,001
Temperatura	1	2700	2700	15,498	<0,001
Pressão	1	675	675	3,874	0,061
Tempo	1	26	26	0,146	0,705
Gramatura:Temperatura	2	640	320	1,836	0,181
Gramatura:Pressão	2	1034	517	2,966	0,071
Temperatura:Pressão	1	2269	2269	13,022	0,001
Gramatura:Tempo	2	357	178	1,023	0,375
Temperatura:Tempo	1	42	42	0,242	0,627
Pressão:Tempo	1	713	713	4,093	0,054
Gramatura:Temperatura:Pressão	2	854	427	2,451	0,108
Gramatura:Temperatura:Tempo	2	2063	1032	5,922	0,008
Gramatura:Pressão:Tempo	2	4214	2107	12,095	<0,001
Temperatura:Pressão:Tempo	1	1151	1151	6,604	0,017
Gramatura:Temperatura:Pressão:Tempo	2	516	258	1,481	0,248
Residual	24	4181	174		

NOTAS: 1) Teste de normalidade – Shapiro-Wilk: p: 0,9426

2) Teste de homogeneidade de Variância – Bartlett: p: 0,1028

FONTE: O autor (2012)

#### 4.3.1 Análise da interação temperatura:pressão

Os resultados são apresentados na TABELA 10. A análise do efeito da pressão para cada temperatura é representado por letras maiúsculas e o efeito da temperatura para pressão é representado em letras minúsculas. Diferenças avaliadas ao nível de significância de 5%, pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, para os dados.

TABELA 10 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE PRESSÃO:TEMPERATURA

Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	
	130	140
16	367,50(30,27) Bb	396,25(27,91) Aa
18	388,75(26,26) Aa	390,00(28,86) Aa

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

A pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup> apresentou resistência média à abrasão significativamente maior que a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup> para a temperatura de 130°C, para a temperatura de 140°C não houve diferença significativa entre as pressões 16 e 18 kgf/cm<sup>2</sup>.

A temperatura de 140°C apresentou resistência média à abrasão significativamente maior que a temperatura de 130°C para a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup>. Para a pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup> não houve diferença significativa entre as temperaturas de 130 e 140°C.

Os resultados obtidos mostram que tratamentos com valores mais altos em critérios de pressão e temperatura proporcionaram melhores resultados para resistência à abrasão, contudo estes resultados não são constantes em todos os tratamentos.

#### 4.3.2 Análise da interação gramatura:temperatura:tempo

Os resultados são apresentados nas TABELAS 11 à 17, a análise do efeito do tempo para cada temperatura e gramatura é representado por letras maiúsculas e o efeito da temperatura para cada tempo e gramatura é representado em letras minúsculas. Diferenças avaliadas ao nível de significância de 5%, pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, para os dados.

TABELA 11 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:TEMPERATURA PARA GRAMATURA DE 120 g/m<sup>2</sup>

Tempo (min)	Temperatura (°C)	
	130	140
6	257,50(7,50) Ab	293,75(8,00) Aa
8	266,87(14,26) Aa	271,87(5,53) Ba

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

Para o tempo de 6 minutos e gramatura de 120 g/m<sup>2</sup>, a resistência média à abrasão para a temperatura de 140°C é significativamente maior do que para a temperatura de 130°C. Para o tempo de 8 minutos e gramatura de 120g/m<sup>2</sup> não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Para a temperatura de 140°C e gramatura de 120 g/m<sup>2</sup>, a resistência média à abrasão para o tempo de 6 minutos é significativamente maior do que para o

tempo de 8 minutos. Para a temperatura de 130°C e 120g/m<sup>2</sup> não houve diferença significativa entre os tratamentos.

TABELA 12 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:TEMPERATURA PARA GRAMATURA DE 165 g/m<sup>2</sup>

Tempo (min)	Temperatura (°C)	
	130	140
6	388,75(5,54) Aa	377,50(11,64) Ba
8	378,13(16,18) Ab	398,75(17,25) Aa

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

Para o tempo de 8 minutos e gramatura de 165 g/m<sup>2</sup>, a resistência média à abrasão para a temperatura de 140°C é significativamente maior do que para a temperatura de 130°C. Para o tempo de 6 minutos e gramatura de 165g/m<sup>2</sup> não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Para a temperatura de 140°C e gramatura de 165 g/m<sup>2</sup>, a resistência média à abrasão para o tempo de 8 minutos é significativamente maior do que para o tempo de 6 minutos. Para a temperatura de 130°C e gramatura de 165g/m<sup>2</sup> não houve diferença significativa entre os tratamentos.

TABELA 13 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:TEMPERATURA PARA GRAMATURA DE 210 g/m<sup>2</sup>

Tempo (min)	Temperatura (°C)	
	130	140
6	488,75(8,07) Aa	503,13(2,77) Aa
8	488,75(10,08) Ab	513,75(6,81) Aa

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

Para o tempo de 8 minutos e gramatura de 210 g/m<sup>2</sup>, a resistência média à abrasão para a temperatura de 140°C é significativamente maior do que para a temperatura de 130°C. Para o tempo de 6 minutos e gramatura de 210g/m<sup>2</sup> não houve diferença significativa.

Para a temperatura de 130°C com gramatura de 210g/m<sup>2</sup>, bem como temperatura de 140°C com a gramatura de 210g/m<sup>2</sup>, as mudanças de tempo de prensagem para os tratamentos não tiveram diferenças significativas entre si.

Os resultados obtidos mostram que os tratamentos diferem entre si sem uma constância de valores para os critérios de tempo e temperatura.

TABELA 14 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 130°C E TEMPO DE 6min

<b>Gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Média (dp)</b>	<b>Grupo</b>
120	257,50(7,50)	c
165	388,75(5,54)	b
210	488,75(8,07)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

TABELA 15 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 130°C E TEMPO DE 8min

<b>Gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Média (dp)</b>	<b>Grupo</b>
120	266,88(14,27)	c
165	378,13(16,18)	b
210	488,75(10,08)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

TABELA 16 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 140°C E TEMPO DE 6min

<b>Gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Média (dp)</b>	<b>Grupo</b>
120	293,75(8,00)	c
165	377,50(11,64)	b
210	503,125(2,77)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

TABELA 17 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 140°C E TEMPO DE 8min

Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	Média (dp)	Grupo
120	271,87(5,53)	c
165	398,75(17,25)	b
210	513,75(6,81)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

A gramatura de 210 g/m<sup>2</sup> apresentou resistência média à abrasão significativamente maior do que as demais gramaturas para todas as combinações de tratamentos (temperatura e tempo). A gramatura de 165 g/m<sup>2</sup> apresentou resistência média à abrasão significativamente maior do que a gramatura de 120g/m<sup>2</sup> para todas as combinações de tratamentos (temperatura e tempo).

#### 4.3.3 Análise da interação gramatura:pressão:tempo

Os resultados são apresentados nas TABELAS 18 à 20, a análise do efeito do tempo para cada pressão e gramatura é representado por letras maiúsculas e o efeito do pressão para cada tempo e gramatura é representado em letras minúsculas. Diferenças avaliadas ao nível de significância de 5%, pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, para os dados.

TABELA 18 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:PRESSÃO PARA GRAMATURA DE 120 g/m<sup>2</sup>

Tempo (min)	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	16	18
6	276,25(18,19) Aa	275,00(2,89) Aa
8	259,38(10,92) Ab	279,38(7,24) Aa

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

Para o tempo de 8 minutos e gramatura de 120 g/m<sup>2</sup>, a resistência média à abrasão para a pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup> é significativamente maior do que para a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup>. Para o tempo de 6 minutos e gramatura de 120 g/m<sup>2</sup> não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Para a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup> com gramatura de 120g/m<sup>2</sup>, bem como a pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup> com a gramatura de 120g/m<sup>2</sup>, as mudanças de tempo de prensagem para os tratamentos não tiveram diferenças significativas entre si.

TABELA 19 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:PRESSÃO PARA GRAMATURA DE 165 g/m<sup>2</sup>

Tempo (min)	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	16	18
6	388,75(5,54) Aa	377,50(11,64) Ba
8	365,00(9,79) Bb	411,88(12,97) Aa

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

Para o tempo de 8 minutos e gramatura de 165 g/m<sup>2</sup>, a resistência média à abrasão para a pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup> é significativamente maior do que para a pressão de de 16 kgf/cm<sup>2</sup>. Para o tempo de 6 minutos e gramatura de 165 g/m<sup>2</sup> não houve diferença significativa entre tratamentos.

Para a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup> e gramatura de 165 g/m<sup>2</sup>, a resistência média à abrasão para o tempo de 6 minutos é significativamente maior do que para o tempo de 8 minutos. Ao contrário para a pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup> a resistência média à abrasão para o tempo de 8 minutos é significativamente maior do que para o tempo de 6 minutos.

TABELA 20 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:PRESSÃO PARA GRAMATURA DE 210 g/m<sup>2</sup>

Tempo (min)	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	16	18
6	490,00(8,72) Ba	501,88(2,77) Aa
8	511,88(7,17) Aa	490,63(11,20) Ab

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

Para o tempo de 8 minutos e gramatura de 210 g/m<sup>2</sup>, a resistência média à abrasão para a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup> é significativamente maior do que para a pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup>. Para o tempo de 6 minutos e gramatura de 210 g/m<sup>2</sup> não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Para a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup> e gramatura de 210 g/m<sup>2</sup>, a resistência média à abrasão para o tempo de 8 minutos é significativamente maior do que para o tempo de 6 minutos. Ao contrário para a pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup> a resistência média à abrasão para o tempo de 6 minutos é significativamente maior do que para o tempo de 8 minutos.

Os resultados obtidos mostram que os tratamentos diferem entre si sem uma constância de valores para os critérios de tempo e pressão.

As TABELAS 21 à 24 apresentam o efeito da gramatura para cada combinação de pressão e tempo. Diferenças avaliadas ao nível de significância de 5%, pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, para os dados.

TABELA 21 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA PRESSÃO DE 16 kgf/cm<sup>2</sup> E TEMPO DE 6min

<b>Gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Média (dp)</b>	<b>Grupo</b>
120	276,25(18,19)	c
165	388,75(5,54)	b
210	490,00(8,72)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

TABELA 22 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA PRESSÃO DE 16 kgf/cm<sup>2</sup> E TEMPO DE 8min

<b>Gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Média (dp)</b>	<b>Grupo</b>
120	259,38(10,92)	c
165	365,00(9,79)	b
210	511,88(7,17)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

TABELA 23 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA PRESSÃO DE 18 kgf/cm<sup>2</sup> E TEMPO DE 6min

Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	Média (dp)	Grupo
120	275,00(2,89)	c
165	377,50(11,64)	b
210	501,88(2,77)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

TABELA 24 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA PRESSÃO DE 18 kgf/cm<sup>2</sup> E TEMPO DE 8min

Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	Média (dp)	Grupo
120	279,38(7,24)	c
165	411,88(12,97)	b
210	490,63(11,20)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

A gramatura de 210 g/m<sup>2</sup> apresentou resistência média à abrasão significativamente maior do que as demais gramaturas para todas as combinações de tratamentos (pressão e tempo). A gramatura de 165 g/m<sup>2</sup> apresentou resistência média à abrasão significativamente maior do que a gramatura de 120g/m<sup>2</sup> para todas as combinações de tratamentos (pressão e tempo).

#### 4.3.4 Análise da interação temperatura:pressão:tempo

Os resultados são apresentados nas TABELAS 25 e 26, a análise do efeito do tempo para cada temperatura e pressão é representado por letras maiúsculas e o efeito da pressão para cada tempo e temperatura é representado em letras minúsculas. Diferenças avaliadas ao nível de significância de 5%, pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, para os dados.

TABELA 25 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:PRESSÃO PARA TEMPERATURA DE 130°C

Tempo (min)	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	16	18
6	366,67(42,25) Ab	390,00(42,52) Aa
8	368,33(47,41) Ab	387,50(34,99) Aa

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

Para o tempo de 6 minutos e temperatura de 130°C, a resistência média à abrasão para a pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup> é significativamente maior do que para a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup>. Para o tempo de 8 minutos e temperatura de 130°C, a resistência média à abrasão para a pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup> também é significativamente maior do que para a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup>.

Para a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup> com temperatura de 130°C, bem como a pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup> com temperatura de 130°C, as mudanças de tempo de prensagem para os tratamentos não tiveram diferenças significativas entre si.

TABELA 26 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:PRESSÃO PARA TEMPERATURA DE 140°C

Tempo (min)	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	16	18
6	403,33(36,12) Aa	379,58(41,03) Bb
8	389,17(45,87) Aa	400,42(44,01) Aa

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

Para o tempo de 6 minutos e temperatura de 140°C, a resistência média à abrasão para a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup> é significativamente maior do que para a pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup>. Para o tempo de 8 minutos e temperatura de 140°C não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Para a pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup> e temperatura de 140°C, a resistência média à abrasão para o tempo de 8 minutos é significativamente maior do que para o tempo de 6 minutos. Para a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup> e temperatura de 140°C não houve diferença significativa entre os tratamentos.

As TABELAS 27 à 30 apresentam o efeito da temperatura para cada combinação de pressão e tempo. Diferenças avaliadas ao nível de significância de 5%, pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, para os dados.

Os resultados obtidos mostram que os tratamentos diferem entre si sem uma constância de valores para os critérios de tempo e pressão.

TABELA 27 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 16 kgf/cm<sup>2</sup> E TEMPO DE 6min

Temperatura	Média(dp)	Grupo
130	366,67(42,25)	b
140	403,33(36,12)	a

TABELA 28 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 16 kgf/cm<sup>2</sup> E TEMPO DE 8min

Temperatura	Média(dp)	Grupo
130	368,33(47,41)	b
140	389,17(45,87)	a

TABELA 29 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 18 kgf/cm<sup>2</sup> E TEMPO DE 6min

Temperatura	Média(dp)	Grupo
130	390,00(42,52)	a
140	379,58(41,03)	a

TABELA 30 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 18 kgf/cm<sup>2</sup> E TEMPO DE 8min

Temperatura	Média(dp)	Grupo
130	387,50(34,99)	a
140	400,42(44,01)	a

A temperatura de 140 °C apresentou resistência à abrasão média significativamente maior do que a temperatura de 130 °C para as combinações de tratamentos com pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup> e ambos os tempos.

Para as combinações de tratamento com pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup> e ambos os tempos não houve diferença significativa entre as temperaturas de 130 e 140 °C.

#### 4.4 ABSORÇÃO DE VAPOR EM 1 HORA

Os resultados da análise para a variável resposta valor de absorção de vapor ( $\text{g/m}^2$ ) em 1 hora de realização do ensaio (AV1) são apresentados na TABELA31.

Ao se analisar a variável AV1 em sua escala original, procedendo com a análise de resíduos para verificação das pressuposições de normalidade e homogeneidade de variâncias, verificou-se, através do teste de Shapiro-Wilk, que os resíduos são normalmente distribuídos ( $p\text{-valor}=0,3888$ ), e, pelo teste de Bartlett, verifica-se que os tratamentos possuem variâncias homogêneas ( $p\text{-valor}=0,3153$ ).

TABELA 31 - RESULTADOS DO TESTE DE ABSORÇÃO DE VAPOR EM 1 HORA

Fonte de variação	Graus de liberdade	Somas de quadrados	Quadrados médios	Valor F	Valor p
Gramatura	2	18803	9402	1,085	0,354
Temperatura	1	343	343	0,040	0,844
Pressão	1	20920	20920	2,415	0,133
Tempo	1	3169	3169	0,366	0,510
Gramatura:Temperatura	2	5160	2580	0,298	0,745
Gramamatura:Pressão	2	4955	2478	0,286	0,754
Temperatura:Pressão	1	6337	6337	0,731	0,401
Gramatura:Tempo	2	1079	540	0,062	0,939
Temperatura:Tempo	1	25687	25687	2,965	0,098
Pressão:Tempo	1	16163	16163	1,866	0,185
Gramatura:Temperatura:Pressão	2	10855	5427	0,626	0,543
Gramatura:Temperatura:Tempo	2	46003	23001	2,655	0,091
Gramatura:Pressão:Tempo	2	7859	3930	0,454	0,641
Temperatura:Pressão:Tempo	1	39396	39396	4,547	<b>0,043</b>
Gramatura:Temperatura:Pressão:Tempo	2	4818	2409	0,278	0,759
Residual	24	207937	8664		

NOTAS: 1) Teste de normalidade – Shapiro-Wilk:  $p: 0,3888$

2) Teste de homogeneidade de Variância – Bartlett:  $p: 0,3153$

FONTE: O autor (2012)

Ao nível de significância de 5%, nenhum fator se mostrou significativo com relação à absorção de vapor em 1 hora. Uma interação de ordem 3 (temperatura:pressão:tempo) se mostrou significativa, indicando que os efeitos dos fatores compreendidos em tais interações devem ser avaliados conjuntamente.

#### 4.4.1 Análise da interação temperatura:pressão:tempo

Os resultados são apresentados nas TABELAS 32 e 33, a análise do efeito do tempo para cada temperatura e pressão é representado por letras maiúsculas e o efeito da pressão para cada tempo e temperatura é representado em letras minúsculas. Diferenças avaliadas ao nível de significância de 5%, pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, para os dados.

TABELA 32 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:PRESSÃO PARA TEMPERATURA DE 130°C

Tempo (min)	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	16	18
6	63,64(13,93) Ab	176,40(60,06) Aa
8	127,62(44,70) Aa	52,39(10,61) Ba

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

Para o tempo de 6 minutos e temperatura de 130°C, a absorção de vapor em 1 hora para a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup> é significativamente menor do que para a pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup>. Para o tempo de 8 minutos e temperatura de 130°C não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Para a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup> e temperatura de 130°C, a absorção de vapor em 1 hora para o tempo de prensagem de 6 minutos é significativamente menor do que para o tempo de prensagem de 8 minutos. Para a pressão de 18kgf/cm<sup>2</sup> e temperatura de 130°C não houve diferença significativa entre os tratamentos.

TABELA 33 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:PRESSÃO PARA TEMPERATURA DE 140°C

Tempo (min)	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	16	18
6	57,03(11,76) Aa	101,17(30,39) Aa
8	98,96(39,55) Aa	184,29(41,36) Aa

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

Para a temperatura de 140°C as interações entre as variáveis não foram significativas entre si.

As TABELAS 34 à 37 apresentam o efeito da temperatura para cada combinação de pressão e tempo. Diferenças avaliadas ao nível de significância de 5%, pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, para os dados.

TABELA 34 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 16 kgf/cm<sup>2</sup> E TEMPO DE 6min

Temperatura	Média(dp)	Grupo
130	63,64(13,93)	a
140	57,03(11,75)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

TABELA 35 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 16 kgf/cm<sup>2</sup> E TEMPO DE 8min

Temperatura	Média(dp)	Grupo
130	127,62(44,70)	a
140	98,96(39,54)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

TABELA 36 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 18 kgf/cm<sup>2</sup> E TEMPO DE 6min

Temperatura	Média(dp)	Grupo
130	176,41(60,06)	a
140	101,17(30,39)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

TABELA 37 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPERATURAS PARA PRESSÃO DE 18 kgf/cm<sup>2</sup> E TEMPO DE 8min

Temperatura	Média(dp)	Grupo
130	52,39(10,62)	b
140	184,29(41,35)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

A temperatura de 140°C apresentou absorção média de vapor em 1 hora significativamente maior do que a temperatura de 130°C para a combinação do tratamento com pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup> e tempo de 8 minutos. Para os demais tratamentos não houve diferença significativa entre as temperaturas de 130 e 140°C.

#### 4.5 ABSORÇÃO DE VAPOR EM 2 HORAS

Os resultados da análise para a variável resposta valor de absorção de vapor (g/m<sup>2</sup>) em 2 horas de realização do ensaio (AV2) são apresentados na TABELA 38.

Ao se analisar a variável AV2 em sua escala original, procedendo com a análise de resíduos para verificação das pressuposições de normalidade e homogeneidade de variâncias, verificou-se, através do teste de Shapiro-Wilk, que os resíduos são normalmente distribuídos (p-valor=0,9368), e, pelo teste de Bartlett, verifica-se que os tratamentos possuem variâncias homogêneas (p-valor=0,2228).

TABELA 38 - RESULTADOS DO TESTE DE ABSORÇÃO DE VAPOR EM 2 HORAS

Fonte de variação	Graus de liberdade	Somas de quadrados	Quadrados médios	Valor F	Valor p
Gramatura	2	47136	23568	0,793	0,464
Temperatura	1	71197	71197	2,396	0,135
Pressão	1	158385	158385	5,329	<b>0,029</b>
Tempo	1	33278	33278	1,120	0,301
Gramatura:Temperatura	2	69507	34753	1,169	0,328
Gramamatura:Pressão	2	21055	10527	0,354	0,705
Temperatura:Pressão	1	111805	111805	3,762	0,064
Gramatura:Tempo	2	50748	25374	0,854	0,438
Temperatura:Tempo	1	60395	60395	2,032	0,167
Pressão:Tempo	1	7853	7853	0,264	0,612
Gramatura:Temperatura:Pressão	2	18163	9082	0,306	0,739
Gramatura:Temperatura:Tempo	2	240897	120448	4,053	<b>0,030</b>
Gramatura:Pressão:Tempo	2	89656	44828	1,508	0,242
Temperatura:Pressão:Tempo	1	87819	87819	2,955	0,099
Gramatura:Temperatura:Pressão:Tempo	2	45807	22904	0,771	0,474
Residual	24	713284	29720		

NOTAS: 1) Teste de normalidade – Shapiro-Wilk: p: 0,9386

2) Teste de homogeneidade de Variância – Bartlett: p: 0,2228

FONTE: O autor (2012)

Ao nível de significância de 5%, apenas o fator pressão se mostrou significativo com relação à absorção de vapor em 2 horas. Uma interação de ordem 3 (gramatura:temperatura:tempo) se mostrou significativa, indicando que os efeitos dos fatores compreendidos em tais interações devem ser avaliados conjuntamente.

#### 4.5.1 Análise do efeito da Pressão

A TABELA 39 apresenta a análise do efeito da pressão para a variável absorção de valor em 2 horas, pois o fator não se encontra na interação que foi significativa. Diferenças avaliadas ao nível de significância de 5%, pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, para os dados.

TABELA 39 - COMPARAÇÕES ENTRE AS MÉDIAS PARA A VARIÁVEL PRESSÃO

Pressão	Média(dp)	Grupo
16	187,42(26,07)	b
18	302,31(48,41)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

Para a absorção de vapor em 2 horas a pressão de 18 kgf/cm<sup>2</sup> apresentou absorção de vapor média significativamente maior que a pressão de 16 kgf/cm<sup>2</sup>.

#### 4.5.2 Análise da interação gramatura:temperatura:tempo

Os resultados são apresentados nas TABELAS 40 à 42, a análise do efeito do tempo para cada temperatura e gramatura é representado por letras maiúsculas e o efeito da temperatura para cada tempo e gramatura é representado em letras minúsculas. Diferenças avaliadas ao nível de significância de 5%, pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, para os dados.

TABELA 40 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:TEMPERATURA PARA GRAMATURA DE 120 g/m<sup>2</sup>

Tempo (min)	Temperatura (°C)	
	130	140
6	258,53(117,52) Aa	226,11(85,04) Aa
8	151,49(41,20) Aa	367,90(116,93) Aa

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

Para a gramatura de 120 g/m<sup>2</sup> as interações entre tempo e temperatura não foram significativas entre si.

TABELA 41 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:TEMPERATURA PARA GRAMATURA DE 165 g/m<sup>2</sup>

Tempo (min)	Temperatura (°C)	
	130	140
6	232,67(97,98) Aa	183,08(47,05) Ba
8	165,08(38,21) Ab	538,38(191,54) Aa

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

Para o tempo de 8 minutos e gramatura de 165 g/m<sup>2</sup>, a absorção de vapor em 2 horas para a temperatura de 130°C é significativamente menor do que para a temperatura de 140°C. Para o tempo de 6 minutos e gramatura de 165 g/m<sup>2</sup> não houve diferença significativa.

Para a temperatura de 130°C e gramatura de 165 g/m<sup>2</sup>, a absorção de vapor em 2 horas para o tempo de 8 minutos é significativamente menor do que para o tempo de 6 minutos. Para a temperatura de 140°C e gramatura de 165 g/m<sup>2</sup> não houve diferença significativa.

TABELA 42 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE TEMPO:TEMPERATURA PARA GRAMATURA DE 210 g/m<sup>2</sup>

Tempo (min)	Temperatura (°C)	
	130	140
6	155,28(58,12) Aa	255,54(83,49) Aa
8	275,05(68,03) Aa	129,26(56,00) Aa

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

Para a gramatura de 210 g/m<sup>2</sup> as interações entre tempo e temperatura não foram significativas entre si.

As TABELAS 43 à 46 apresentam o efeito da gramatura para cada combinação de tempo e temperatura. Diferenças avaliadas ao nível de significância de 5%, pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, para os dados.

TABELA 43 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 130°C E TEMPO DE 6min

<b>Gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Média (dp)</b>	<b>Grupo</b>
120	258,53(117,52)	a
165	232,67(97,98)	a
210	155,28(58,12)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

TABELA 44 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 130°C E TEMPO DE 8min

<b>Gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Média (dp)</b>	<b>Grupo</b>
120	151,50(41,20)	a
165	165,08(38,21)	a
210	275,05(68,03)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

TABELA 45 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 140°C E TEMPO DE 6min

<b>Gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Média (dp)</b>	<b>Grupo</b>
120	226,11(85,04)	a
165	183,08(47,05)	a
210	255,54(83,49)	a

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

FONTE: O autor (2012)

TABELA 46 - COMPARAÇÕES MULTIPLAS ENTRE GRAMATURAS PARA TEMPERATURA DE 140°C E TEMPO DE 8min

Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	Média (dp)	Grupo
120	367,91(116,93)	a b
165	538,38(191,54)	a
210	129,26(56,00)	b

NOTAS : 1) Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha/coluna se diferem estatisticamente entre si.

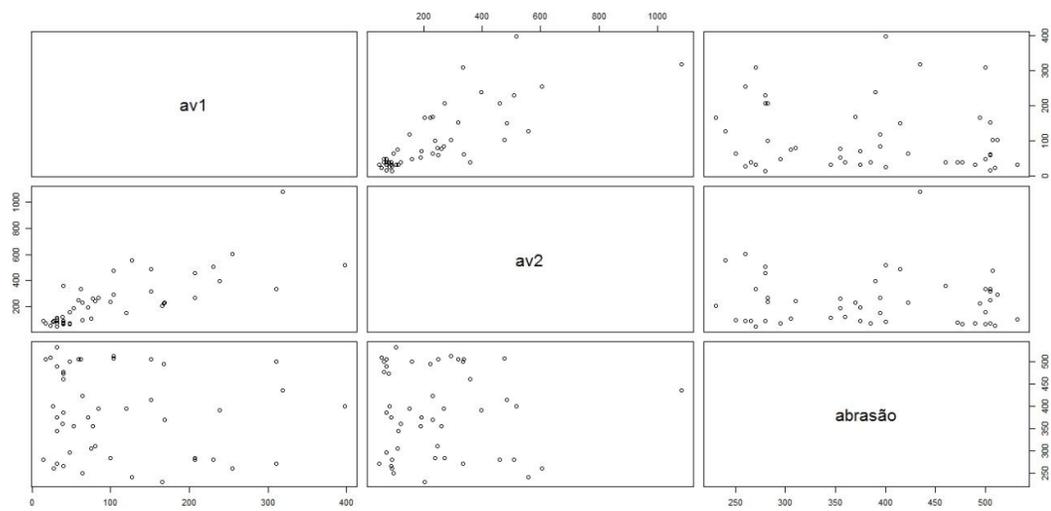
FONTE: O autor (2012)

As gramaturas de 120 e 165 g/m<sup>2</sup> apresentaram absorção média de vapor em 2 horas significativamente maior do que a gramatura de 210 g/m<sup>2</sup> para a combinação de tratamento com temperatura de 140 °C e tempo de 8 minutos.

Para as demais combinações de tratamento não houve diferença significativa entre as gramaturas de 120, 165 e 210 g/m<sup>2</sup>.

#### 4.6 CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS RESPOSTA

A correlação entre a absorção de vapor em uma hora e a absorção de vapor em duas horas obtida foi de  $r=0,74$ , indicando uma correlação positiva. A correlação entre Absorção de vapor em uma hora e a resistência à abrasão obtida foi  $r=-0,14$ , indicando uma correlação negativa fraca. A correlação entre a absorção de vapor em duas horas e a resistência à abrasão obtida foi  $r=-0,04$ , indicando uma correlação negativa fraca.



**FIGURA 29 – CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS RESPOSTA**

Nota: 1) Correlação entre absorção de vapor em 1 hora por absorção de vapor em 2 horas  $r=0,74$   
 2) Correlação entre absorção de vapor em 1 hora por resistência à abrasão,  $r=-0,14$   
 3) Correlação entre absorção de vapor em 2 horas por resistência à abrasão,  $r=-0,04$

FONTE: O autor (2011)

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- Os parâmetros de prensagem para o filme fenólico utilizados neste estudo não influenciaram significativamente na qualidade visual do compensado plastificado.
- A impregnação do filme fenólico através da combinação de aumento de temperatura e pressão por determinado período de tempo não tiveram relação com a gramatura do filme fenólico nos ensaios de cura.
- Através do ensaio de abrasão foi possível concluir que compensado plastificado revestidas com filmes fenólicos de maior gramatura são mais resistentes à abrasão, e não tem influência significativa de outros parâmetros utilizados para a prensagem do papel fenólico.
- A absorção de umidade através da aplicação de vapor comprovou que os parâmetros de prensagem e a gramatura do filme fenólico não interferem de forma constante maneira significativa na absorção de vapor pelos painéis de compensado plastificado.
- O número de reutilizações como fôrmas de concreto para os compensados plastificados fabricado seriam proporcionais aos valores de gramatura dos filmes fenólicos utilizados como revestimento, uma vez que a resistência à abrasão, provocada pelo lançamento de concreto nas fôrmas, está associada ao maior valor de gramatura do filme fenólico.
- A utilização dos menores valores para os parâmetros de prensagem do filme fenólico possibilitam ganhos econômicos significativos na produção para as empresas já que não interferem nos resultados dos ensaios, exceto a gramatura, que interfere diretamente na resistência à abrasão.
- De acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se concluir que os melhores valores para os parâmetros de prensagem do filme fenólico no compensado plastificado são: gramatura do filme fenólico de  $210 \text{ g/m}^2$ , temperatura de  $130^\circ\text{C}$ , pressão específica de  $16 \text{ kgf/cm}^2$ , e tempo de prensagem de 6 minutos.

## 6 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa as seguintes recomendações podem ser apresentadas:

- Avaliação dos parâmetros de produção do compensado tradicional que vão interferir em sua utilização como fôrmas de concreto, como por exemplo, espécie da capa e miolo, espessura da lâmina e classificação da capa, contracapa e lâminas após capa.
- Avaliação dos parâmetros de utilização das fôrmas fabricadas com compensado plastificado e sua interferência no número de reutilizações e acabamento do concreto.
- Estudo de viabilidade de elaboração de Normas Técnicas Nacionais através da Associação Brasileira de Normas Técnicas para o produto em questão juntos com entidades representantes do setor.
- Estudo de implementação de desenvolvimento de um programa de qualidade para a produção do compensado plastificado, com objetivo de estabelecer parâmetros de qualidade e critérios de aceitação do produto.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA JR., C. C. **Manual de utilização e montagem de fôrmas para concreto armado em edifícios de andares múltiplos**. Goiânia: TOR Engenharia. 1996.

ALMEIDA PRADO, J. F. M. **Estruturas de edifícios em concreto armado submetidas a ações de construção**. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1999.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 622/58 – Pressures on formwork. Detroit, ACI.1958.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 347R/88 – Guide to formwork for concrete. Detroit, ACI. 1988.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **Wood, adhesives**, part. 22. Philadelphia, 1981.

AMORIN, A. A. **Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. Monografia do curso de especialização em Engenharia de Materiais e Construção. Belo Horizonte, 2010.

ARAUJO, C. R. dos S.; FORTES, A. S.. **Emprego de fôrmas de madeira em estrutura de concreto**, Salvador: UCSal - Universidade Católica do Salvador, 2009.

ASSAHI, P. N. Sistema de fôrma para estrutura de concreto. São Paulo: EPUSP/ITQC. 2006.

ASSAHI, P. N. Qualidade e produtividade na construção civil - Fôrma para estrutura de concreto armado. São Paulo: EPUSP/ITQC. 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Artigo Técnico: Compensado Plastificado**. Curitiba, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo Setorial 2009 – Ano Base 2008**. Curitiba, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo Setorial 2008 – Ano Base 2007**. Curitiba, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Fluxograma de produção de compensado de madeira**. Artigo Técnico nº 20. Junho, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Painéis de madeira fabricados no Brasil e suas particularidades**. Artigo Técnico nº 1. Curitiba. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Compensado de Pinus. Catálogo Técnico – nº1**. Curitiba. ABIMCI, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **Catálogo Técnico**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br>> Acesso em 25/12/2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Estruturas de Concreto**. 156p. São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização de cimento Portland**. Boletim Técnico 106, 22p. São Paulo, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fôrmas de madeira para concreto armado em edifícios comuns. Boletim Técnico**. nº 50. São Paulo. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – **Projeto e execução de obras de concreto armado**. Rio de Janeiro: ABNT. 1978.

AZEREDO, H. A.. **O edifício e seu acabamento**. São Paulo: Edgard Blücher, 1987. 1178p.

BALDWIN, R. F. Plywood manufacturing practices. San Francisco: Miller Freeman, 1995. 388 p.

BANET. **Concreto**. Disponível em: <http://www.banet.com.br/construcoes/materiais/concreto/concreto.htm>> Acesso em: 16/11/2011.

BARROS, M. M. S B; MELHADO, S. B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

BARTLETT, M.S. **Properties of sufficiency and statistical tests**. Proceedings of the Royal Society of London, serie A, London, 160:268-282, 1937.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5 ed. São Paulo: LTC, 2001.

BENDTSEN, B. A. **Properties of wood from improved and intensively managed trees**. In: ECONOMICS & FINANCIAL MANAGEMENT AND TIMBER PRODUCTION TECHNICAL COMMITTEES OF THE FOREST PRODUCTS RESEARCH SOCIETY, 1978. Atlanta: Proceedings... Atlanta: 1978. p.1-78.

BERTOLDO et. al. **Uso ou abuso em testes de comparações de média: conhecimento científico ou empírico?** Ciência rural, Santa Maria, v.38, n.4, 2008.

BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. **Panorama de mercado: painéis de madeira** – BNDES Setorial 32, p 49-90, 2010.

BNDES. **Setorial: Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro, 2010.

BNDES. **Setorial: Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro, n 27, p.121-156, mar. 2008.

BODIG, J.; GOODMAN, J.R. **Prediction of elastic parameters for wood**. Wood Science, v.5, n.4, p.249- 264, 1973.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. Ed. Van Nostrand Reinhold, New York, 711p.1982.

BOOTH, M.A. **Predicting the bending strength of structural plywood**. J. Inst. Wood Sci., v.12, n.1, p.14-47, 1990.

BONDUELLE, G.M.; CHIES, D.; MARTINS, D.G.. **O processo de fabricação de painéis compensados no estado do Paraná, analisado através dos rendimento e dos resíduos gerados**. 2004. Disponível em < <http://www.remade.com.br> >. Acesso em: 15/11/2011.

BOIN, A. C. **Fôrmas e Escoramentos**. Apostila do Curso sobre fôrmas e escoramentos na engenharia do concreto, ABCP. 89p. 1993.

BRAND, M A; KLOCK U; MUÑIZ G I B DE; SILVA D A da - Avaliação do processo produtivo de uma indústria de manufatura de painéis por meio do balanço de material e do rendimento da matéria-prima. **Revista Árvore** vol.28 – nº4. Viçosa Julho/Agosto/2004.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 5 ed. , Ed. Saraiva, 526 p. SP, 2002.

CALIL JR., C. **Fôrmas de madeira para concreto armado** – SET 613 Complementos de estruturas de madeira. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2005.

CALIL JR., C. et al. **Fôrmas de madeira para concreto armado**. São Carlos. 82p. Publicação: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1998.

CANTELMO, N. F.; FERREIRA, D. F. **Desempenho de testes de normalidade multivariados avaliados por simulação Monte Carlo**. Ciências Agrotécnicas, Lavras, v.31, n.6, p. 1630-1626, 2007.

CHADE, W. T. **O uso da madeira na construção civil. A evolução da fôrma para concreto**, Anais do II Simpósio Nacional de Tecnologia da Construção - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986.

CHOW, P.; Bajwa, Dilpreet Singh. In: Rowell, Roger M.; Young, Raymond A.; Rowell, Judith, K. **Paper and composites from agro-based resources**. Processing into Composites. Boca Raton, FL: CRC Lewis Publishers: 269-299. Chap. 8. 1997.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON. **Manual de technologie coffrage. Bulletin d'Information**, n. 115. 1976.

COMPANHIA ESTADUAL DE HABITAÇÃO E OBRAS PUBLICAS – **Manual técnico de montagem de fôrmas de concreto**. Aracajú, 2007.

CONAGIN et al. **Efeito da falta de normalidade em testes de homogeneidade das variâncias**. Braganita, Campinas, 52(2): 173-180, 1993.

COVERIGHT. **Technical Brochure** – Americas. Disponível em: [www.coveright.com.br](http://www.coveright.com.br), acessado em: 23/12/2011.

COVERIGHT SURFACES. Coveright® - Phenolic Surface Films – **Technical data and services**. 04/07 E EUR 31. 2011.

COVERIGHT SURFACES. Coveright® - Phenolic Surface Films – **Sample Order**. SOE-110326-C. 2011.

COVERIGHT SURFACES. Coveright® - Phenolic Surface Films – **Quality Test Methods**. 2011.

CRITIANI, J. E. R. **Fôrmas de madeira para concreto em edifícios de andares múltiplos**. São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1995.

CRUZ, R. M. **Pressão lateral em fôrmas para concreto**. Campinas. 142p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. 1997.

DALGAARD, P. **Introductory Statistics with R. Statitics and computing**, 2002.

DELESPINASSE. B. F. M. **Simulação de análise de investimentos na indústria de compensados no Brasil**. Curitiba, 1995. 71 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ELEOTÉRIO JR., J. R. **Propriedades físicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 121 p. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba; São Paulo, 2000.

FAJERSZTAJN, H. **Fôrmas para concreto armado**. Aplicação para o caso do edifício. São Paulo. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1987, p241.

FAO. **Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe**. Roma, 2006. Estudio FAO Montes: 148 p.

FARIAS A., SOARES, J. & CÉSAR, C. **Introdução à Estatística**. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2003.

FEZER. **Secador de lâminas**. Disponível em [www.fezer.com.br](http://www.fezer.com.br), acessado em 12/01/2012.

FILHO A. F. & JÚNIOR T. F. **Emprego de Formas de Madeira em Estrutura de Concreto**. Salvador, 2008.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook** - Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL GTR 113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture. 463 p. 1999.

FORMACOMP. **Compensado Plastificado**. Disponível em: [www.formacomp.com.br/produtos](http://www.formacomp.com.br/produtos), acesso em: 15/11/2011.

GUEDES, T. A. et al. **Projeto de Ensino – Estatística Descritiva**. 2007.

GUIMARÃES, A.T.C. **CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.1 - Propriedades do Concreto Fresco**. Ed.Geraldo Cechella Isaia - São Paulo: IBRACON, 2005. 1v

HAAG, W. **Gluing, blending, spreading and testing: trends in the machinery and process control developments**. In: International Particleboard Composite materials Symposium, 26th, Proceedings, Washington State University, 1992. p. 69-93, 1992.

INTERAMNENSE, M. T. **Utilização das madeiras de Eucalyptus cloeziana (F. Muell), Eucalyptus maculata ( Hook) e Eucalyptus punctata DC var. puntacta para a produção de painéis compensados**. 1998. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

IWAKIRI, S. et al. **Produção de painéis compensados de pinus tropicais colados com resina fenol-formaldeído**. Floresta, v. 39, n.3, p. 669-673, 2009.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída – FUPEF**. Curitiba, 2005.

IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D. P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M. A. **Produção de Chapas de Madeira Compensada de Cinco Espécies de Pinus Tropicais.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 71-77, dez. 2004.

IWAKIRI, S. *et al.* **Produção de compensados de Pinus taeda e Pinus oocarpa com resina fenol-formaldeído.** Revista Cerne, V.8, N.2, p.092-097, 2002.

IWAKIRI, S. *et al.* **Produção de compensados de Pinus taeda L. e Pinus oocarpa Schiede com diferentes formulações de Uréia-Formaldeído.** Árvore, v. 26, n.3, p. 371-375, 2002.

IWAKIRI, S. *et al.* **Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de Pinus tropicais.** Floresta e ambiente, Rio de Janeiro, v. 8 n.1 p 137-142, 2001.

JANKOWSKY, I. P. **Colagem de madeiras.** Piracicaba: ESALQ, 1988. 45 p.

JANKOWSKI, I. P.; GALVÃO, A. P. M. **Influência do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira.** IPEF, n. 18, p. 1-33, 1980.

KEINERT JR., S. **Laboratory evaluation of Eucalyptus grandis and Eucalyptus robusta for the manufacture of composition board.** (Doctor of Philophy) - Department of Forestry, Michigan State University, 1980.

KEINERT JR. S.; MATOS, J. L. M. **Utilização de Pinus pinaster para fabricação de chapas de partículas.** Floresta, v. 17, n. 1-2, p. 113-120, 1987.

KEINERT JR. S.; ALBERTO, M. M. M. **Influência de diversos tempos e temperaturas de prensagem em compensados fenólicos de Pinus taeda: Efeitos sobre a resistência da colagem ao esforço de cisalhamento.** Santa Maria, v. 2, n.1, p. 67-79, 1992.

KOLLMANN, F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of Wood science and technology.** Part I: Solid wood, 591p., Springeer Verlag, 1968.

KOLLMANN, F.; KENZI, P.; STAMM, A.; **Principles of wood science and technology II.** Wood based materials, 703p. New York, USA, 1975.

KOLLMANN, F. **Tecnologia de la madera y sus aplicaciones.** Madrid, Gráficas Reunidas S.A., 1959. 674p.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M.A. **Metodologia do trabalho científico.** Editora Atlas SA, 2ª Edição, 1989.

LIMA, A. J. M; IWAKIRI, S. **Produtos Alternativos na Produção de Blocos para Alvenaria Estrutural.** Floresta e Ambiente. 2011.

LIMA, A. J. M. **Utilização de resíduos de Pinus spp e materiais cimentícios alternativos na produção de blocos para alvenaria estrutural** – Tese de Doutorado – UFPR. Curitiba, 2009.

LUTZ, J.F. **Research at fores products laboratory reveals that heating southern pine bolts improves veneer quality**. Plywood & Panel, 1967.

MALONEY, T.M.; **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. Updated edition covers composite wood products. Miller Freeman, San Francisco, 1993.

MALONEY, T.M.; **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. Miller Freeman, San Francisco, 1989. 672 p.

MARANHÃO, G. M. **Fôrmas para concreto: subsídios para a otimização do projeto segundo a NBR 7190/97**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2000.

MARANHÃO, G. M.; LAHR, F. A. R. **Pressões Laterais em Fôrmas para Pilares de Concreto Armado**. In: 41º Congresso Brasileiro do Concreto (IBRACON). Salvador, BA.1999.

MARCH, H.W. **Stress-strain relations in wood and plywood considered as orthotropic materials**. Wiscosin: USDA. Forest Service, Forest Products Laboratory, 1944. 24p.

MARRA, A. A. **Technology of Wood bonding: principles and practice**. New York, Van Nostrand Reinhold 1992, 453 p.

MATOSKI, A. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira**. 187p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

MATTOS, R. L. G. et al. **Painéis de Madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. BNDES Setorial 27, mar. 2008.

MCLAIN, T.E.; BODIG, J. **Determination of elastic parameters of full-size wood composite boards**. Forest Product Journal, v.24,n.4,p.48-57,1974

MEDINA, J. C. **Efeito da temperatura de aquecimento na obtenção de lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade de colagem de compensados fenólicos de Pinus elliottii Engelm**. Curitiba. 1986 113p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná.

- MOORE, D. A **Estatística Básica e sua prática**. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2000.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 5 ed. John Wiley & Sons, 2001.
- MORIKAWA M.S. **Materiais Alternativos Utilizados em formas para concreto armado**. Campinas, 2003.
- NAZAR, N. **Fôrmas e escoramentos para edifícios**. – São Paulo; PINI, (2007).
- OLIN, H. B. **Construction: Principles, materials & methods** - Cap. 201: Wood. New York, Ed. Van Nostrand Reinhold, 1990. p. 201.1-201.45.
- PALMA, H. A. L.; **Determinação de propriedades elásticas e de resistência em compensados de Pinus elliottii**. Scientia Florestais. N.51, p. 37-48, 1997.
- PEDROSA, A. L. **Desempenho estrutural de vigas “I” constituídas por PLP e Compensados de Pinus taeda L Eucalyptus dunnii Maiden e OSB de Pinus spp**. Dissertação de mestrado. UFPR – Curitiba, 2003.
- PERECIN, D.; MALHEIROS, E.B. **Procedimentos para comparações múltiplas**. Lavras: UFLA, 1989. 67p.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. Rio de janeiro: LTC, 2003.
- PFEIL, W. **Cimbramentos**. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro. 1987.
- POLLNOW, R. K. **Painéis compensados de Pinus taeda produzidos com resina ureia-formaldeído e diferentes proporções de resina à base de tanino**. Monografia de Graduação – Universidade Federal de Pelotas, 2010.
- POLZL, P. F. K. **Análise da produtividade em fábricas de painéis compensados plastificados**. Dissertação em Engenharia de Produção – UTFPR, Ponta Grossa, 2011.
- POLZL, W. B.; POLZL, P. F. K.; SANTOS, A. J.; JUNIOR, R. T. **Perfil produtivo das empresas de madeira compensada no estado do Paraná**. Revista Árvore, número 1 2010. vol. 34, PAG. 189-196.
- PONTES, A. C. F.; **Análise de variância multivariada com a utilização de testes não-paramétricos e componentes principais baseados em matrizes de postos**. Tese de Doutorado – USP, Piracicaba, 2005.

PRATA, J. G. **Desempenho de um sistema de qualidade em uma fábrica de painéis compensados**. Curitiba, 2006.

REMADE. **Revista da Madeira: Painéis – Cresce presença no setor**. Edição especial. Maio, 2003.

REQUENA, J. A. V. **Fôrmas e cimbramentos de madeira para edificações**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1983.

REVECOM. **Condições de manuseio e utilização de fôrmas para concreto**. Disponível em <http://www.revecom.com.br>, acessado em 15/11/2011.

RIBEIRO, R. M. **Concreto aparente: Uma contribuição para a construção sustentável**. Monografia de Especialização em Construção Civil – UFMG, Belo Horizonte, 2010.

RIBEIRO, T. S. **Produção de Painéis compensados de Pinus taeda com resina ureia-formaldeído utilizando diferentes extensores**. Monografia de Graduação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

RIPPER, E. **Como evitar erros na construção**. 3ª ed.rev. São Paulo: Pini, 1996. 168p.

RODRIGUES, S. J. **Ações de construção em lajes de concreto armado**. 158 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rio de Janeiro. 2006.

SANTOS, A. J. **Approche destinée à analyser La situation forestière d'une region donnée au Brésil: Application au cas d'une région du Nord-Nord-Ouest de l'État du Paraná**. ENGREF, Tese. (Doutorado). Nancy, 282 p. 1993.

SELLERS, T. **Plywood and adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1985. 661 p.

SILVA, D. A. **Avaliação da eficiência energética de uma indústria de painéis compensados**, Curitiba, 2001. 205f. Originalmente apresentado como tese de doutorado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná.

SILVA J. C. G. L da, **Análise da eficiência econômica a indústria de compensados do Estado do Paraná**. Curitiba. 1987 148p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná.

SILVA, T. A. P. R. M.; **Optimização da cura de resinas fenólicas com a tecnologia de infravermelho**. Universidade de Aveiro, 2008.

SOBRAL FILHO, M. **Adesão e adesivos para Madeira. I teorias de adesão e a natureza das colagens com madeira**. IBDF, Série Técnica, n. 5 Brasília , 1982.

SOUZA, L. **Tipo de minijardim clonal e efeito do ácido indolbutírico na miniestaquia de *Grevillea robusta* A. Cunn. (Proteaceae).** 66 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

STAMATO, G. C & CALIL JÚNIOR, C. **Resistência ao embutimento da madeira compensada.** Engenharia de estruturas – USP, São Carlos, 2002.

TAKAHASHA, B. **Fôrmas para estruturas de concreto.** **Anais do XII Simpósio Nacional de Tecnologia da Construção** - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1996.

TOMASELLI, I. **Tendências de mudanças na Indústria de Painéis.** Revista da Madeira, ano 8, nº43, 1999.

TOMASELLI, I. **A indústria de painéis no Brasil e no mundo: Tendências de mudanças do perfil de produção e usos.** In: 1º Seminário Internacional de Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia. Anais, Belo Horizonte, MG, 1998, p. 55-64.

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil.** UFPR, Curitiba, 2008.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada** – Curitiba, 2010. 260 p.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization.** New York, 1991. 494 p.

UMAÑA, C. L. A, BRITO, E. O, Cozimento da madeira altera a qualidade das lâminas, **Revista da Madeira**, nº78 – ano13 – Fevereiro/2004.

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Content and base specific gravity to group tropical woods for kiln drying.** Forest Products Laboratory. Madison, 1994, 65 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA. Sistema de Bibliotecas. **Teses, dissertações, monografias e outros trabalhos acadêmicos.** 2.ed. Curitiba: Ed. Da UFPR, 2007. 101p. (Normas para apresentação de documentos científicos); v. 2.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA. Sistema de Bibliotecas. **Citações e notas de rodapé.** 2.ed. 53p. (Normas para apresentação de documentos científicos); v. 3. Curitiba: Ed. da UFPR, 2007.

## ANEXO A



**PROGRAMA NACIONAL DA QUALIDADE DA MADEIRACOMPENSADOS DE  
MADEIRA TROPICAL E PINUS PNQM-CT E PNQM-CP**

**PARÂMETROS REV.05 (21/01/09)**

**1 – CLASSIFICAÇÃO DAS TORAS**

- Classe 1: Densidade < 500 kg/m<sup>3</sup>;
- Classe 2: Densidade 500 - 600 kg/m<sup>3</sup>;
- Classe 3: Densidade 601 - 700 kg/m<sup>3</sup>.
- Classe 4: Densidade > 700 kg/m<sup>3</sup>.

**2 – COZIMENTO DAS TORAS**

- Classe 1: Não obrigatório
- Classe 2: Temperatura >60°C Tempo >12 horas
- Classe 3: Temperatura >60°C Tempo > 24 horas.
- Classe 4: Temperatura >60°C Tempo > 48 horas

**3 – LAMINAÇÃO - TOLERÂNCIAS PARA DIMENSÕES DA LÂMINA**

- Espessura: ± 7% da espessura nominal. A diferença entre a maior e a menor medida obtida não deverá ser superior a 7% da espessura nominal da lâmina;
- Comprimento: Ao critério do Fabricante (Não obrigatório);
- Largura: Ao critério do Fabricante (Não obrigatório);
- Esquadro: Ao critério do Fabricante (Não obrigatório).

#### 4 – SECAGEM – TEOR DE UMIDADE

TABELA 47 - TEOR DE UMIDADE DO PNQM PARA SECAGEM DE LÂMINAS

Lâmina	Colagem	
	Fenólica	Uréica
Capa	< 12%	< 14%
Miolo Seco	< 08%	< 12%
Miolo Cola	< 08%	< 08%
Contracapa	< 12%	< 14%

FONTE: ABIMCI (2009)

#### 5 – CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS

De acordo com a Norma ABNT:

#### 6 – RECEBIMENTO DA RESINA

- Fornecedor do respectivo Certificado de Qualidade, desde que o Fornecedor esteja certificado pelo PNQM ou, caso contrário, através de contra-teste a ser realizado em laboratório independente.
- Os Fornecedores de resina deverão enviar, para cada carregamento, amostra lacrada do lote fornecido.

TABELA 48 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA RESINA

Descrição	Tipo de Resina	
	Fenólica	Uréica
Teor de sólidos (1g/3h/105°C)	48 - 51 %	64 - 66 %
Viscosidade Brookfield (25°C)	400 - 800 cP	300 - 1000 cP
pH (25°C)	11,5 - 13,0	7,4 - 9,0
Gel Time (121 °C)	6 - 11 minutos	-
Densidade (25°C)	1,19 - 1,25 g/cm <sup>3</sup>	1,25 - 1,30 g/cm <sup>3</sup>
Formol Livre	Baixa Emissão	- máx. 0,5%
	Alta Emissão	- > 0,5%

FONTE: ABIMCI (2009)

## **7 - RECEBIMENTO DO EXTENSOR**

- Efetuar mistura de 50 gramas de extensor (trigo) com 100 ml de água (relação 2:1), no recebimento.
- Tempo de escoamento da mistura (água + trigo), em Copo Ford nº 8 deverá ser inferior a 30 segundos.

## **8 – RECEBIMENTO DO CATALISADOR**

Deve ser utilizado catalisador indicado pelo Fornecedor da resina dentro das características especificadas por este. O recebimento do catalisador será feito contra a apresentação, por parte do Fornecedor do respectivo Certificado de Qualidade, desde que o Fornecedor esteja certificado pelo PNQM, caso contrário, através de contra-teste a ser realizado em laboratório independente.

## **9 – FORMULAÇÃO DO CATALISADOR**

Para os seguintes casos:

- Utilização de catalisador de fabricação própria:
- Utilização de catalisador de fornecedor diferente do da resina:

Deverão ser executados ensaios de resistência da linha de cola de acordo com os procedimentos e metodologia constantes nas normas ABNT.

## **10 – RECEBIMENTO DO PRESERVATIVO DE MADEIRA**

De acordo com as especificações técnicas e relatórios de ensaios fornecidos pelos fabricantes.

## 11 – RECEBIMENTO DE FITAS E FIOS PARA JUNTAGEM

TABELA 49 - PARÂMETROS DO PNQM PARA RECEBIMENTO DE FIOS PARA JUNTAGEM

Tipo de Material	Largura	Gramatura	Papel	Diâmetros dos furos	Temperatura de aplicação
Fita Gomada Perfurada	20 mm	40 g/m <sup>2</sup>	KRAFT	> 4mm	-
Fita Gomada Lisa	20 mm	40 g/m <sup>2</sup>	KRAFT	-	-
Fio Resinado	-	-	-	-	80 a 170°C

FONTE: ABIMCI (2009)

## 12 – PREPARAÇÃO DA COLA

Para a cola (incluindo o preservativo de madeira);

TABELA 50 - PARÂMETROS DO PNQM PARA PREPARAÇÃO DE COLA

Item	Classe da Madeira	Colagem	
		Fenólica	Uréica
Teor de sólidos		>35%	>25%
Viscosidade	1,2,3	40 - 60 segundos	
	4	30 - 40 segundos	
Tempo de preparação		> 4 minutos	

FONTE: ABIMCI (2009)

## 13 – APLICAÇÃO DA COLA

- Para a gramatura – g/m<sup>2</sup> (colagem fenólica e uréica):

TABELA 51 - PARÂMETROS DO PNQM PARA APLICAÇÃO DE COLA

Espessura da lâmina	Classe 1	Classe 2	Classe 3 e 4
< 1,0	> 260	> 260	> 260
1,0 a 2,0	> 280	> 280	> 280
2,0 a 3,0	> 320	> 320	> 320
> 3,0	> 370	> 370	> 360

FONTE: ABIMCI (2009)

- Para a Distribuição da cola: distribuição uniforme

## 14 – MONTAGEM

- Para a umidade: De acordo com o item 4
- Para a temperatura: Colagem Fenólica e Uréica: < 40°C
- Destinação, qualidade e dimensões das lâminas: De acordo com o produto a ser fabricado.
- Composição: Balanceada (quanto à espessura e sentido da Grã).
- Para a disposição das classes de madeira: Classe diferentes montadas de forma balanceada e simétricas;
- Quantidade mínima de lâminas:

TABELA 52 - PARÂMETROS DO PNQM PARA MONTAGEM DE COMPENSADOS

Espessura do Pannel - mm	Nº mínimo de lâminas
3 a 6	3
9 a 12	5
15 a 18	7
21 a 25	9

FONTE: ABIMCI (2009)

## 15 – PRÉ-PRENSAGEM (recomendável)

- Para o tempo de prensagem:  
Colagem fenólica e uréica: 04 a 12 minutos;
- Para a pressão:  
Colagem fenólica e uréica: 04 a 09 kgf/cm<sup>2</sup>.

## 16 – ASSEMBLAGEM

- Para colagem fenólica:  
Tempo de assemblagem máximo: 720 minutos (12 horas);
- Para colagem uréica:

TABELA 53 - PARÂMETROS DO PNQM PARA ASSEMBLAGEM COM COLA URÉICA

Catalisador		Formol Livre		
		Alto	Médio	Baixo
Sulfato de amônio sólido	Teor	máx. 1%	máx. 3%	máx. 1%
	Pot Life*	30 min	30 min	45 min
Solução sulfato de amônio amoniacal	Teor	3 - 5 %	3 - 5 %	3 - 5 %
	Pot Life*	60 min	60 min	60 min
Solução sulfato de amônio e retardante	Teor	3 - 5 %	3 - 5 %	3 - 5 %
	Pot Life*	60 min	90 min	120n

Nota: Pot Life\* é o tempo de vida útil da cola (depois de catalisada) a temperatura ambiente 25 a 30°C.

FONTE: ABIMCI (2009)

## 17 – PRENSAGEM

Critérios de Aceitação

TABELA 54 - PARÂMETROS DO PNQM PARA PRENSAGEM

Parâmetro		Tipo de Colagem	
		Fenólica	Uréica
Tempo de carregamento - minutos		< 2,5	< 2,5
Temperatura		125 a 150	95 a 115
Pressão - kgf/cm <sup>2</sup>	Tropical	10 a 14	6 a 12
	Pinus	8 a 12	-
Tempo de prensagem - min/mm	Temperatura < 140°C	1	0,5 + 2 min
	Temperatura > 140°C	0,8	-

Nota: Para painéis de compensados com espessura igual ou inferior a 5 mm o tempo de prensagem poderá ser reduzido para 0,8 min/mm para colagem fenólica e 0,5 min/mm para colagem uréica, mantendo todos os demais parâmetros especificados.

FONTE: ABIMCI (2009)

## 18 – REPAROS E REMENDOS

Recuperação, com massa sintética ou madeira de mesma classe, de defeitos tais como: nós abertos, trincas, capas viradas, entre outros.

## 19 – ESQUADREJAMENTO

De acordo com a Norma ABNT:

- Projeto 31:000.05-017 (ISO 1954) – Madeira Compensada – Tolerâncias dimensionais.

## 20 – LIXAMENTO FINAL

- Para a umidade: Teor de umidade: < 12%
- Para a espessura: De acordo com a Norma ABNT: Projeto 31:000.05-017 (ISO 1954) – Madeira Compensada – Tolerâncias dimensionais

## 21 – CLASSIFICAÇÃO DAS CHAPAS DE COMPENSADOS

De acordo com Norma ABNT.

## 22 – EMBALAGEM

- Composição mínima da embalagem:
  - i. Exportação:
    - Estrado ou 03 “skids”;
    - 03 (três) cintas de aço/plástico transversais;
    - 02 (duas) cintas de aço/plástico longitudinais;
    - Plástico envolvendo os painéis;
    - Lâminas ou papelão para proteção do “pallet”;
    - Estrado com aplicação de preservativo de madeira, de acordo com a Instrução Normativa ISPM-15
  - ii. Mercado nacional: A granel.
    - Identificação mínima da embalagem:
      - Nome do fabricante;
      - Nome do cliente;
      - Porto de destino;
      - Qualidade dos painéis;
      - Dimensões;

Quantidade de painéis;

Marca de certificação;

Instruções de manuseio e armazenamento (proteção contra intempéries, transporte, capacidade máxima de empilhamento e utilização de equipamentos de levantamento, entre outras informações);

Identificação de imunização;

Numeração dos “pallets”

- Teor de umidade:

Máximo 18%

## 23 – RECEBIMENTO DE MASSA SINTÉTICA PARA REPAROS

Os produtores deverão atender as especificações e instruções de uso recomendadas pelo(s) fabricante(s)

## 24 – CONTROLE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO – FPC

De acordo com a Norma EN 13986:2004. (Somente para compensados certificados com a Marca CE de conformidade).

### 24.1 PARA PAINÉIS DE COMPENSADO PLASTIFICADO

TABELA 55 - PARÂMETRO PARA O PAPEL UTILIZADO

Gramatura - g/m <sup>2</sup>	
No papel	Final*
40	120 - 125
60	145 - 175
80	210 - 220

Nota: Final\*: Após a aplicação da resina fenólica.

FONTE: ABIMCI (2009)

## PRENSAGEM

- Para o tempo de calagem: máx. 20 segundos

- Para a temperatura: 125 a 130 °C
- Para a pressão: > 14 kgf/cm<sup>2</sup>
- Para o tempo de prensagem: 5 a 7 minutos

## **24.2 PARA PAINÉIS DE COMPENSADO RESINADO**

### **PRENSAGEM (*para cura da resina*)**

- Para o tempo de calagem: máx. 20 segundos
- Para a temperatura: 125 a 130 °C
- Para a pressão: > 14 kgf/cm<sup>2</sup>
- Para o tempo de prensagem: 3 minutos

## **24.3 PARA PAINÉIS DE COMPENSADO DECORATIVO**

**Nota:** Esses parâmetros aplicam-se somente à colagem da lâmina decorativa (lâmina faqueada).

### **APLICAÇÃO DA COLA**

- Umidade: De acordo com o item 5
- Temperatura da lâmina: < 40 °C
- Gramatura: 220 a 280 g/m<sup>2</sup>
- Distribuição: Uniforme

### **PRENSAGEM**

- Para o tempo de calagem: máx. 20 segundos
- Para a temperatura: 125 a 130 °C
- Para a pressão: > 14 kgf/cm<sup>2</sup>
- Para o tempo de prensagem: 3 minutos