Universidade de São Paulo
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Pós-Graduação – Área de Concentração: Estruturas Ambientais Urbanas

TESE DE DOUTORADO

***Fibra de Coco e Resinas de Origem Vegetal para Produção
de Componentes de Mobiliário e da Construção Civil***

Guilherme Alexandre Wiedman

1164217

Orientador: Prof. Dr. Carlos Zibel Costa

Novembro de 2002

SUMÁRIO

HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	iv
RESUMO/ SUMMARY/ RESUMEN.....	v
AGRADECIMENTOS.....	vi
1. INTRODUÇÃO	
1.1. Compósitos e Ecomateriais.....	1
1.2. Painéis de fibras agro-industriais.....	2
1.2.1. Classificação.....	3
1.2.2. Propriedades de Painéis de Fibras Agro- industriais.....	5
1.2.3. Análise dos dados obtidos.....	6
2. FIBRAS VEGETAIS	
2.1.1.1. Introdução.....	7
2.2. Caracterização.....	9
2.3. Processos de Obtenção.....	11
2.4. Fibra de Coco	
2.4.1. Introdução.....	14
2.4.2. Obtenção e Caracterização da Fibra de Coco.....	20
2.4.2.1. O Desfibramento.....	21
2.4.2.2. A produção de Fibra de Coco em Igarassú-PE.....	22
2.4.2.3. Propriedades e Classificação da Fibra de Coco.....	25
2.4.3. A agroindústria do coco no Estado de Kerala, Índia.....	26
3. BIORESINAS	
3.1. Introdução.....	31
3.1.1. Adesivos para madeira.....	31
3.1.2. Propriedades específicas.....	32
3.1.3. Histórico.....	33
3.1.4. Classificação	33
3.1.5. Classificação por origem dos componentes primários.....	34
3.2. Adesivo de Tanino.....	34
3.2.1. A produção de cola de tanino no Brasil.....	36
3.2.2. Processo de obtenção.....	37
3.3. Resina de LCC – Líquido da Castanha do Caju.....	39
3.4. Resina Poliuretana de Óleo de Mamona.....	41
4. DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO DE FIBRA DE COCO E RESINA VEGETAL	
4.1. FASE I : ESTUDO EXPLORATÓRIO	
4.1.1. Histórico.....	43
4.1.2. Materiais e Métodos.....	44
4.1.2.1. Preparação das fibras.....	44
4.1.2.2. Preparação dos adesivos.....	45
4.1.2.3. Fabricação das chapas aglomeradas.....	45
4.1.2.4. Avaliação da Qualidade das Chapas Aglomeradas.....	46
4.1.3. Resultados e discussão.....	46

4.1.4.	Conclusão sobre os ensaios.....	49
4.2. FASE II: PROPOSTA DE APLICAÇÃO EM MOBILIÁRIO ESCOLAR		
4.2.1.1.	Produção do protótipo.....	49
4.2.1.2.	Projeto de mobiliário escolar.....	50
4.2.1.1.1.	Memorial Descritivo.....	51
4.2.1.1.2.	Por que mobiliário escolar?	52
4.2.1.2.	Preparação das fibras	53
4.2.1.3.	Preparação do adesivo.....	54
4.2.1.4.	Execução do Modelo Volumétrico em Escala Real.....	54
4.2.1.5.	Execução das fôrmas.....	55
4.2.1.6.	Prensagem das peças.....	55
4.2.1.7.	Execução da Estrutura Tubular, Pintura e Montagem	56
4.2.2.	Considerações sobre a execução do protótipo de cadeira escolar.....	56
4.3. FASE III: INSTALAÇÃO DE LABORATÓRIO DE PRODUÇÃO NO IPT E NOVA BATERIA DE ENSAIOS.		
4.3.1.	Materiais e métodos.....	58
4.3.1.1.	Revisão do processo de produção anterior.....	59
4.3.1.2.	Preparação do adesivo.....	60
4.3.1.3.	Preparação das fibras.....	61
4.3.1.4.	Fabricação das chapas aglomeradas.....	62
4.3.1.5.	Avaliação da qualidade das chapas aglomeradas.....	64
A. Ensaio físico e mecânico.		
A.1.	Material	
A.1.1.	Chapa de fibra de coco.....	65
A.1.2.	Chapa de madeira compensada.....	65
A.1.3.	Chapa de partículas de madeira.....	66
A.2.	Ensaio.....	66
A.3.	Método de ensaio	67
A.3.1.	Flexão estática.....	67
A.3.2.	Densidade da massa aparente.....	67
A.3.3.	Inchamento de espessura e absorção de água.....	68
A.3.4.	Arrancamento de parafuso.....	68
A.3.5.	Dureza “Janka”	68
A.3.6.	Tração Normal à Superfície.....	68
A.3.7.	Tração Paralela à Superfície.....	69
A.3.8.	Abrasão de Superfície.....	69
A.3.9.	Propagação superficial de chama.....	69
A.3.10.	Índice de densidade ótica de fumaça.....	69
A.3.11.	Condutividade térmica.....	69
A4.	Resultados	
		70
B. Ensaio de Biodeterioração		
B.1.	Resistência ao ataque de bolores.....	77
B.2.	Resistência ao ataque de fungos apodrecedores.....	78
B.3.	Resistência ao ataque de cupins.....	80
4.3.1.	Discussão.....	81
4.3.2.	Conclusões sobre a segunda bateria de ensaios.....	84
4.4. FASE IV: PROPOSTA DE APLICAÇÃO EM TELHA DE COBERTURA.		
4.3.3.	Projeto de telha de cobertura.....	85

4.4.2.	Material e Métodos.....	86
4.4.3.	Incorporação de impermeabilizante vegetal.....	89
4.4.4.	Avaliação da qualidade das telhas.....	90
4.4.5.	Resultados e Discussão.....	93
5.	APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE ECOMATERIAIS NA PRODUÇÃO SERIADA DE COMPONENTES: ESTUDOS DE CASO E PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE AGRO-INDÚSTRIA	
5.1.	Estudo de caso: Pronamazon e Poematec, Pará, Brasil.....	97
5.2.	Estudo de caso: Natura Fibretech em Bangalore, Índia.....	102
5.3.	Proposta para implantação de agro-indústria de ecomateriais.....	105
5.3.1.	Diagrama de produção para agroindústria de ecomateriais.....	106
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	107
7.	CONCLUSÕES.....	109
8.	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	111
ANEXO:	Relatórios Técnicos dos Ensaios.....	118

HIPÓTESES

É tecnicamente viável a produção de componentes moldados para aplicação em telhas de cobertura e peças de mobiliário a partir de material de origem renovável (compósito de fibra de coco aglomerado com adesivo de tanino e/ ou resina de óleo de mamona).

Com base nas informações levantadas e no processo de produção experimental desenvolvido, pode-se elaborar um diagrama de produção seriada piloto para implantação em regiões com condições de cultivo de espécies adequadas à extração comercial de fibras e resinas vegetais.

OBJETIVOS

- Desenvolver tecnologia para produção experimental de compósito de fibra de coco e resina de tanino.
- Conhecer o estado da arte da pesquisa, produção e utilização da fibra de coco no Brasil e nos principais países produtores.
- Confeccionar chapas do compósito de fibra de coco e tanino para extração de corpos de prova.
- Realizar extensa bateria de ensaios de caracterização com o material produzido e sistematizar os dados levantados.
- Instalação do Núcleo de Pesquisa de Compósitos, em parceria com a Divisão de Produtos Florestais do IPT.
- Confeccionar protótipos para avaliação do compósito: cadeiras escolares e telhas de cobertura.
- Realizar testes para avaliação dos protótipos.
- Elaborar um diagrama de produção de agro-indústria de ecomateriais derivada do processo tecnológico desenvolvido.

RESUMO

A pesquisa trata do desenvolvimento de tecnologia experimental para produção de material compósito de alto desempenho a partir de fibras e resinas de origem vegetal. A fibra extraída do fruto do coqueiro (*Cocos nucifera*) combinada a resinas comerciais obtidas da casca da acácia negra (*Acacia mearnsii*) e do óleo de mamona (*Ricinus communis*) foram utilizadas para a fabricação de peças de mobiliário e telhas de cobertura destinadas à construção civil. Corpos de prova e protótipos foram produzidos e testados nos laboratórios da Divisão de Produtos Florestais do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo com financiamento da Fapesp- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

Os resultados dos ensaios indicam que o compósito de fibra e resina pode substituir materiais convencionais como aglomerados e laminados de madeira, apresentando vantagens como resistência à umidade, resistência ao ataque de cupins e maior elasticidade, além de ser moldável, estrutural e isolante térmico.

SUMMARY

The following doctorate thesis describes an experimental development of native technology for the utilization of plant fibers in the manufacture of environmentally sound composite materials suitable to replace wood fiberboard, particleboard and MDF. Coir fiber extracted from the common coconut tree (*Cocos nucifera*) combined with plant resins obtained from black wattle (*Acacia mearnsii*) and castor plant (*Ricinus communis*) were used to produce molded components and flat sheets in experimental process. Prototypes of school chairs and corrugated roof tiles were manufactured and a complete set of tests were done to verify technical feasibility and potential applications. Coir fiber as well as other suitable plant fibers are an abundant resource in the poorest regions of Brazil and in several other developing countries in Asia and Africa. The use of such technology by the communities living off fiber extraction could aggregate value to their production and be an important factor to promote sustainable development.

RESUMEN

La fibra de coco añadida a adhesivos de origen vegetal es utilizada para la producción de componentes compuestos para la construcción civil e industria de muebles. Fueron realizados ensayos normatizados con este material y se produjo protótipos entre los cuales un de teja ondulada en forma experimental. Los resultados obtenidos con estos ensayos indican características favorables, sin embargo debe ser incorporado un agente impermeabilizante para hacer posible su uso en cubiertas de viviendas rurales ubicadas en regiones de clima tropical. Averiguada la viabilidad técnica de producción de la teja, las próximas etapas de investigación tendrán foco en la viabilidad económica utilizando solamente componentes de origen renovable.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer às seguintes pessoas que, com sua valiosa contribuição, permitiram que esta pesquisa se concretizasse:

Gilson Lameira de Lima, por ter sido o primeiro a acreditar no projeto;
Luis Tadashi Watai, pelo estímulo e orientação técnica;
Marcio Rabelo Nahuz, por ter viabilizado a instalação do Nupec no IPT;
Pedro Cervera, por ter disponibilizado seu laboratório na Teperman;
Wilson Moura, por compartilhar sua experiência no uso das fibras vegetais;
Pedro Ivan de Oliveira, pela hospitalidade sulista e as mais belas placas de fibra;
Luis Lamb, Inês e Cláudio, da Tanac, pela disponibilidade para ajudar, sempre;
Rastko Key Kovacevic, pelas maquetes eletrônicas;
Rocha, do LAME, pelas soluções e por ter salvado o dia em diversas ocasiões;
Caio Marin e Letícia d'Hanens, pelas grandes idéias e a torcida;
Sabu Thomas, da MGU, por ter organizado a visita à Índia;
Arménio Gomes Pinto, pelos ensaios realizados no LPB;
André Schwartzman, pelos desenhos da agroindústria;
Osny Pellegrino Ferreira, pelo auxílio nos ensaios com PU de mamona;
Gilberto Chierice e Salvador Claro Neto, pelos ensaios no Instituto de Química.
Wagner Ribeiro, por possibilitar a apresentação da pesquisa em Johannesburgo;
Carlos Zibel Costa, pelo apoio que iniciou e garantiu continuidade à pesquisa.

Muito obrigado.

1. INTRODUÇÃO

À exceção das fibras de madeira, as fibras vegetais em geral representam um recurso natural renovável relativamente pouco explorado e presente em abundância na maior parte dos chamados países “em desenvolvimento”. Tecnologias nativas voltadas para o uso racional e sustentado desses recursos podem trazer novas oportunidades de desenvolvimento para regiões onde fibras vegetais se façam disponíveis por meio de cultivos dedicados ou como resíduo gerado de atividade agro-industrial. Em regiões extremamente carentes, a introdução de espécies produtoras de alimento e fibras proporciona uma fonte relativamente segura de recursos mínimos necessários à subsistência, sendo parte fundamental de projetos de desenvolvimento sustentável bem sucedidos em países como Índia, Nepal e no Brasil, onde se pode citar como exemplo o sistema de Agricultura em Andares, implantado junto a algumas comunidades situadas em áreas de risco no estado do Pará (Mitschein et al., 1994).

O uso que fazemos atualmente das fibras vegetais está concentrado predominantemente em fibras extraídas de árvores, como é o caso da madeira, enquanto fibras têxteis como algodão, juta e linho representam juntas pouco mais de 1% do total de fibras vegetais produzidas no planeta (Bolton, 1995).

Existe um grande potencial de utilização de novos materiais gerados a partir de biomassa em bens de consumo e, à medida que adentrarmos aceleradamente o século XXI, a tendência é que esse tipo de produto se torne menos incomum no nosso dia-a-dia.

1.1. Compósitos e Ecomateriais

Não há consenso quanto à definição de material compósito, ou *composite material* como aparece comumente na literatura científica internacional. Por ser ampla e inclusiva, se estendendo aos compósitos

naturais como a madeira (celulose aglomerada com lignina), foi adotada neste trabalho a definição que consta na versão eletrônica do “ Dictionary of Composite Materials Technology” ², de Stuart Lee: “Compósito é um material multifásico formado pela combinação de materiais que diferem em composição ou forma, e mesmo colados mantém suas identidades e propriedades, conferindo ao conjunto desempenho superior ao obtido por cada um dos materiais constituintes isolados. Compósitos podem ser fibrosos (fibras/ matriz), laminares (camadas de material), particulados (partículas/ matriz) ou híbridos (uma combinação dos anteriores).”

Da mesma forma, não existe definição universal para “ecomaterial”. O termo aparece com frequência na literatura como abreviação de “Environmentally COnscious Material”, ou material “ambientalmente responsável”.

Ecomaterial é definido neste trabalho como um compósito que apresenta em sua composição a predominância de materiais de origem renovável e que provoca menor impacto no meio-ambiente se comparado a um similar convencional. É desejável também que um ecomaterial seja obtido por meio de processos de produção limpos e socialmente adequados.

² Disponível na World Wide Web em: <http://www.composite.about.com/library/glossary/c/bldef-c1185.htm>

1.2. Painéis de fibras agro-industriais

Pesquisadores da área de tecnologia de materiais no mundo todo vêm demonstrando crescente interesse no desenvolvimento de compósitos com fibras vegetais alternativas às de madeira. Propriedades como alto rendimento, boa relação custo-benefício, resistência à fadiga e resistência a agentes biológicos podem ser alcançadas pelos compósitos empregando tecnologia já existente. Painéis termo-isolantes utilizando subprodutos da agroindústria como bagaço de cana, palha de trigo e de milho já eram produzidos na década de 20 nos Estados Unidos (Youngquist et al., 1993). A tecnologia de aglomerados de

madeira, por sua vez, foi desenvolvida na Alemanha durante a Segunda Guerra Mundial e implantada nos Estados Unidos na década de 50.

1.2.1. Classificação

Classificações para painéis de fibra costumam se aplicar predominantemente a painéis produzidos em fibra de madeira. No entanto, há formas genéricas de classificação que servem tanto aos painéis de fibra de madeira como aos compostos de outras fibras lignocelulósicas. De acordo com Youngquist et al. (1997), painéis de fibras vegetais, de maneira geral, podem ser agrupados como segue:

CHAPAS DE FIBRAS

- a) Painéis Isolantes: Painéis homogêneos formados de fibras entrelaçadas consolidadas por meio de pressão e calor. Em alguns países, são usados na construção civil como forros de isolamento térmico, acústico ou visual, podendo reunir uma combinação dessas características num mesmo produto. A densidade varia entre 160 e 500 kg/m³.
- b) Hardboard: Chapas de fibra reconstituída agregada por pressão e calor, geralmente dispensando o uso de adesivo. Produzidas em “processo úmido”, no qual água é utilizada para dissolver a lignina (cola natural) presente nas fibras. Durante a prensagem das placas, a água em excesso é eliminada por meio de uma retícula porosa acoplada à prensa, o que ocasiona a superfície sempre rugosa em uma de suas faces. No Brasil, esse tipo de placa, produzida em fibra de madeira, é popularmente conhecida como “Duratex”, o nome do primeiro grande fabricante do país. Têm densidade superior a 500 kg/cm³.
- c) Medium Density Fiberboard (MDF): Consiste em placas de fibra com densidade média (640 a 800 kg/m³) e produzidas por “processo seco” que combina aquele usado na indústria de aglomerado com o usado na

produção de hardboard. Têm amplo uso na construção civil, geralmente utilizado na forma de lâminas, como piso, ou usinado, na aplicação em portas.

CHAPAS DE PARTÍCULAS

São chapas formadas por pequenas partículas de material fibroso e produzidas por processo seco com aplicação de pressão e calor. As densidades são semelhantes às do MDF. Nessa categoria inclui-se o aglomerado de madeira, produto muito popular no país. Somente uma fábrica de aglomerado no interior do estado de São Paulo produzia, em 1997, 500 m³ diários de chapas, nos mais diversos acabamentos, em sua maior parte destinada à indústria de móveis.

PAINÉIS REFORÇADOS COM FIBRAS

Fibras vegetais podem também ser empregadas em painéis de composição essencialmente não fibrosa, atuando como reforço estrutural. Nesse caso, a matriz, que é o elemento estrutural predominante, é incorporada de fibras para que se obtenha a melhora de desempenho desejada. A matriz pode ser de origem mineral (matrizes frágeis), geralmente concreto ou gesso, ou de origem polimérica (plásticos), dentre os quais o mais utilizado em compósitos reforçados com fibra é o PVC (Agopyan, 1993).

O estudo sistemático de fibras com finalidade de reforço de matrizes começou na Inglaterra em 1970. No Brasil, o trabalho pioneiro cabe ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (Ceped), Camaçari, Bahia, que iniciou seu trabalho em 1980 (Savastano, 1987).

Agopyan (1991), em seu abrangente trabalho a respeito do emprego de fibras vegetais como reforço de matrizes frágeis, relacionou 19 fibras potencialmente úteis para a construção civil e John (1994) desenvolveu no IPT um sistema de painéis estruturais a base de cimento de escória e fibra de coco. Apesar de apresentarem propriedades favoráveis quanto à resistência a impacto e relação custo benefício, um problema que foi encontrado nos painéis de matriz cimentícia foi a ocorrência de ataque alcalino às fibras, o que reduz a

durabilidade das peças. Uma solução que tem sido pesquisada é a substituição do cimento por aglomerantes alternativos, como escória de alto forno ou cinza de casca de arroz.

1.2.2. Propriedades de painéis de fibras agro-industriais.

As informações apresentadas a seguir baseiam-se em estudo realizado por Youngquist et al. (1997) a respeito das propriedades de chapas de fibras vegetais publicado pelo Laboratório de Produtos Florestais do USDA, departamento de agricultura norte-americano. Parte do relatório é dedicada ao estudo comparativo das propriedades de painéis de fibras vegetais alternativas à madeira com base na literatura disponível e nos registros de patentes de diversas partes do mundo.

Os dados apresentados foram complementados com os de outros trabalhos presentes na literatura para montar a seguinte tabela comparando as propriedades de alguns dos painéis:

QUADRO 1. Propriedades de painéis de resíduos agro-industriais aglomerados com resina

Material	Tipo de chapa	Densidade (kg/cm ³)	MOE * (MPa)	MOR * (MPa)	Absorção água (24h) (%)
Algodão ¹	Partícula	710	—	6.6	—
Bagaço de cana ²	Partícula	750	—	17.4 - 29.5	12.5 - 39.0
Casca de arroz ³	Partícula	800	—	13.1	—
Fibra de Coco ⁴	Fibra	650	—	17.0 - 22,3	15.7 - 22.2
Folhagem ⁵	Partícula	790	1,590	6.6	10
Linho ⁶	Fibra	180 – 220	—	0.59 – 1.0	—

Palha + junco ⁷	Fibra	188 – 214	—	10.8 – 11.0	—
----------------------------	-------	-----------	---	-------------	---

* MOE - módulo de elasticidade; MOR – módulo de ruptura.

Fontes: 1.) Pandey et al., 1979; 2.) Santana e Teixeira, 1993; 3.) Kluge et al., 1978

4.) Costa e Wiedman, 1996; 5.) Chow, 1974; 6.) Gradovich, 1963; 7.) Khaleyan et al., 1981.

1.2.3. Análise dos dados obtidos

Foram analisados dados referentes a chapas de fibras e de partículas de mais de uma dezena de produtos agro-industriais combinados a diversos tipos de aglomerante. Mais de 30% da literatura levantada tratava do uso de bagaço de cana de açúcar ou beterraba e da casca de arroz. Outros materiais que obtiveram alta incidência de trabalhos documentados foram bambu (com 10% dos trabalhos), coco (7%), linho (6%) e palha (6%).

Observou-se que a avaliação da durabilidade dos painéis não foi considerada importante na maior parte dos trabalhos e que faltaram procedimentos que possibilitassem a efetiva comparação dos materiais estudados com produtos já existentes.

Os estudos sobre compósitos de fibra de coco levantados no relatório dão conta de dois tipos de painéis, e em ambos a fibra de coco aparece como reforço estrutural. Aggarwal (1991) testou painéis de argamassa de cimento e Ohtsuka e Uchihara (1973), placas de matriz polimérica. Os dados foram complementados com os resultados de Agopyan e Savastano (1997) e aparecem no Quadro 2.

QUADRO 2. Propriedades de painéis reforçados com coco (pó de coco, endocarpo, e farinha do endocarpo) e fibra de coco

Material	Tipo de chapa	Densidade (kg/cm ³)	MOE * (MPa)	MOR * (MPa)	Resist. Compress. (MPa)	Absorção água 24h (%)	Inchamento Espessura (%)
Coco / fibra ¹	Cimentícia	—	2500-2800	9-11	—	14-16	< 1,2
Coco /fibra /polímero ²	Cimentícia	1850	9650	—	6,48	—	—

Coco /fibra /polímero ³	Plástica	1150 1180	—	14,2 23,0	— —	— —	— —
--	----------	--------------	---	--------------	--------	--------	--------

* MOE - módulo de elasticidade; MOR – módulo de ruptura.

(¹ Aggarval, 1991; ² Agopyan e Savastano, 1997; ³ Ohtsuka e Uchihara, 1973

2. FIBRAS VEGETAIS

2.1. Introdução

As fibras extraídas de algumas plantas vêm sendo utilizadas pelo homem há milênios e hoje encontram aplicação ampla nas indústrias de fios, cordas, tecidos, tapetes, papéis, estofamentos, etc. e também como estrutura de painéis e reforço em materiais de construção.

O emprego de palhas, gramíneas e raízes para reforço de tijolos crus é muito antigo e tem como função conferir mais estabilidade ao tijolo, diminuindo os problemas de retração na secagem. Como exemplo, uma construção de tijolos crus reforçados com raízes no Iraque data de 1400 a.C. (Savastano, 1987)

Painéis estruturados com fibras agro-industriais, como bagaço de cana-de-açúcar, já eram fabricados na década de 20 nos Estados Unidos. O aglomerado de madeira, por sua vez foi desenvolvido pelos alemães durante a Segunda Guerra e introduzido nos EUA nos anos 50. (Youngquist et al., 1993)

Embora as fibras vegetais sofram grande concorrência das fibras sintéticas, que surgiram como suas potenciais substitutas, apresentando vantagens quanto à durabilidade, baixa absorção de água e possibilidade de melhor controle de qualidade, seu uso continua bastante difundido. Nos últimos anos, com o aumento da demanda por produtos ambientalmente adequados gerada por campanhas de conscientização e medidas de controle mais severas, principalmente nos países industrializados, têm-se observado um crescente interesse pelas matérias-primas renováveis, entre elas as fibras vegetais.

Segundo Medina (1959), o objetivo da agricultura é produzir alimentos e fibras; nesses dois grupos estão incluídos os artigos de consumo mais importantes da escala das necessidades do homem, indispensáveis, portanto, ao progresso da humanidade. A fonte básica dessa função evolutiva é

representada pelas plantas, quer diretamente, quer de forma indireta, por intermédio dos animais. Com exceção do amianto, da seda, da lã, e de outras fibras animais menos representativas, o restante das fibras naturais utilizadas pelo homem provém do reino vegetal. O Quadro 3 apresenta uma classificação geral das fibras industriais elaborada com base na visão de alguns autores.

Quadro 3. Classificação geral das fibras usadas na indústria.

Fontes: Faria (1993) e Sisco e Pfäffli (1995)

O cultivo comercial de plantas fornecedoras de fibras tem sido defendido como alternativa econômica por alguns autores como o britânico Bolton (1995), que sugere o emprego de tecnologia de cultivo e processamento da fibra como

vantagem competitiva em relação a simples fornecedores de matéria-prima que, localizadas geralmente em países subdesenvolvidos, oferecem mercadoria a preços baixíssimos.

Bolton defende que o cultivo de plantas produtoras de fibras em lavouras dedicadas e aparelhadas seria uma alternativa econômica ao produtor face à produção excessiva de alimentos no Ocidente. Ainda segundo o mesmo autor, a adoção de tal prática estaria prestes a ocorrer, visto que os avanços tecnológicos, seguindo a tendência atual, permitirão alta produtividade a baixo custo com a produção em escala, e o surgimento de novos mercados para produtos com fibra vegetal ampliará a demanda por matéria-prima, fechando-se o ciclo.

A obtenção de dianteira tecnológica é de extrema importância para que um país como o Brasil consolide uma posição competitiva num mercado global em plena expansão. O potencial do país como produtor de fibras vegetais é evidente e sua realização depende de uma forte política de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia. O Brasil já é o maior produtor de sisal do mundo, praticando preços subsidiados por salários baixos e muitas vezes, condições desumanas de trabalho, além disso, grande parte do produto é exportada na forma bruta, sofrendo transformação industrial posteriormente, nos países compradores. Uma das formas de combater a pobreza e exploração dessas pessoas é agregando valor aos produtos nos países de origem via emprego de tecnologia específica.

2.2. Caracterização

Do ponto de vista botânico, fibras vegetais são células muito longas, de paredes grossas e afiladas nos extremos. Segundo Meyer (1982), a maioria das fibras vegetais tem a seguinte composição:

- Celulose: Principal componente da membrana celular. É uma substância sólida, inerte e insolúvel em água.
- Substância Lenhosa: Composta em parte por celulose, apresenta estrutura mais rígida que esta, servindo como proteção.
- Água: Conteúdo de umidade.
- Impurezas Naturais, como ceras e graxas.

O Quadro 4 mostra as propriedades físicas e mecânicas de fibras vegetais cultivadas no país e com potencial de aplicação na construção civil como reforço de materiais. Outras duas fibras utilizadas com frequência nesse setor aparecem para efeito comparativo.

Quadro 4. Características Físicas e mecânicas de algumas fibras vegetais.

Propriedades	Massa espec. real (kg/m³)	Absorção Máxima (%)	Alongamento na ruptura (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Coco (<i>Cocos nucifera</i>)	1177	93,8	23,9 a 51,4	95 a 118	2,8
Sisal (<i>Agave sisalana</i>)	1370	110,0	4,9 a 5,4	347 a 378	15,2
Malva (<i>Urena lobata</i>)	1409	182,2	5,2	160	17,4
Celulose p/ papel imprensa (<i>Pinus elliottii</i> –princ.)	1200 a 1500	400	Nd	300 a 500	10 a 40
Bambu (<i>Bambusa vulgaris</i>)	1158	145	3,2	73 a 505	5,1 a 24,6
Juta (<i>Corchorus capsularis</i>)	nd	214	3,7 a 6,5	230	Nd
Piaçava (<i>Attalea funifera</i>)	1054	34,4 a 108	6	143	5,6
Amianto crisotila	2200 a 2600	-	2	560 a 750	164
Polipropileno comum (filam.)	913	-	22,3 a 26,0	250	2,0

Fonte: Savastano et al. (1997).

Obs.: nd = informação não disponível.

As fibras vegetais podem ser classificadas de diversas maneiras, principalmente segundo a origem anatômica, a natureza química, a utilização econômica e a origem botânica, cada sistema apresentando vantagens e desvantagens em relação ao outro.

Segundo Medina (1959), a classificação baseada nos grupos naturais ou famílias botânicas é de todas a mais precisa e científica, pois permite reconhecer as afinidades entre as espécies dentro da mesma família botânica. Permite, por exemplo, identificar famílias particularmente ricas em espécies produtoras de fibras e observar que plantas monocotiledôneas fornecem, em geral, fibras consideradas “duras”, enquanto que as dicotiledôneas fornecem fibras “macias”.

Porém, para efeito desse trabalho é adotada a classificação por origem anatômica, mais ilustrativa do que as demais, e que cria categorias de acordo com a parte da planta de onde é extraída a fibra. Sisko e Pfäffli (1995), dividem as fibras vegetais como segue:

1. Fibras de gramíneas: Nesse grupo, as fibras se originam principalmente dos feixes vasculares de algumas monocotiledôneas como as palhas de cereais, milho e arroz, a cana-de-açúcar e o bambu.
2. Fibras liberianas: Provenientes do líber, tecido condutor da seiva elaborada no caule ou talo, de algumas dicotiledôneas. Inclui o linho, o cânhamo, a juta, o kenaf e o rami.
3. Fibras das folhas: Extraídas dos feixes vasculares ou fibrosos de folhas muito longas de algumas monocotiledôneas. Inclui o abacá e o sisal.
4. Fibras dos frutos: Obtidas a partir das sementes (algodão), vagens (paina), ou cascas (coco) de algumas espécies vegetais.

2.3. Processos de Obtenção

As fibras podem ser separadas por processos mecânicos, químicos e biológicos, ou por uma combinação destes, selecionados em função das características desejadas nas fibras e de sua localização na planta (quadro 5).

Foto 1. Piteira, planta ornamental de cujas folhas se pode extrair fibra vegetal.

Foto do autor.

No processo mecânico, o material não fibroso é eliminado manualmente ou com a utilização de máquinas de desfibramento (Foto 2), geralmente por raspagem (Lima, 1994). No processo de maceração biológica espontânea, a decomposição natural do tecido não fibroso em tanques com água facilita a retirada das fibras. Podem-se adicionar culturas de bactérias ou enzimas para efeito de aceleração do processo. Na maceração química, o processo de separação das fibras é realizado pela utilização cuidadosa de produtos químicos, que atacam as matérias não fibrosas resultando na liberação das fibras. Esses processos podem ser empregados de maneira artesanal, tradicional ou pela utilização de tecnologia apropriada nos processos industriais.

Foto 2. Máquina desfibradora e raspagem da folha para obtenção da fibra.

No caso da extração da fibra de coco, o método mais tradicional usa maceração biológica seguida de maceração mecânica, como será detalhado adiante. As cascas são maceradas em tanques com água (doce ou salgada), e em seguida batidas em máquinas desfibradoras para extração das fibras.

Quadro 5. Processos de obtenção e características genéricas de algumas espécies produtoras de fibras encontradas na Região Amazônica.

NOMENCLATURA		Processo usual de obtenção	Possibilidades de Aplicação das Fibras	Ocorrências
Vulgar	Científica			
Aninga	<i>Montrichardia arborescens</i>	maceração biológica e/ou extr. mecânica	cordoalha, papel, reforço de materiais	Amazônia e Guianas
Bananeira	<i>Musa sp.</i>	desfibramento mecânico	cordoalha, papel, tapetes, chapéus e reforço de materiais	Regões Tropicais e Sub-Tropicais
Buriti	<i>Mauritia sp.</i>	desfibramento mecânico	cordoalha, esteira, redes, chapéus, sacaria	Amazônia e Guianas
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	maceração biológica e/ou extr. mecânica	cordoalha, escovas, capachos, estofamento, reforço de materiais	Países de Clima Tropical

Curauá	<i>Ananas erectifolius</i>	desfibramento mecânico	cordoalha, redes, linha de pesca, tecidos, reforço de materiais	Região do Baixo Amazonas, Pará, Acre, Goiás e Mato Grosso
Espada de São Jorge	<i>Sanservieria zeylanica</i>	desfibramento mecânico	cordoalha, tapetes, linha de pesca	Índia, Ceilão, Países Tropicais e Sub-Tropicais
Piteira	<i>Furcraea gigantea</i>	desfibramento mecânico	cordoalha, sacaria e reforço de materiais	Brasil

Fonte: Lourenço et al. (1994).

2.4. Fibra de Coco

2.4.1. Introdução

Dentre os sub-produtos gerados pelo processamento industrial dos frutos do coqueiro (*Cocos nucifera*), a casca é considerada um resíduo e tem sido em grande parte desprezada.

A produção anual nacional de fibras de coco é da ordem de 7 mil toneladas, sendo que isto representa o uso de apenas uma pequena parcela das cerca de 753 mil toneladas de cocos anualmente cultivadas no país (FAO, 1999). Esses dados, somados às características físicas da fibra, demonstram ao menos em parte o porquê do crescente interesse por parte das indústrias em diversificar os usos da fibra de coco, desde a utilização como matéria-prima na confecção de peças de caminhão até como fonte alternativa de energia. Os recentes avanços no conhecimento das potencialidades da fibra de coco, porém, cobrem apenas uma pequena parte do que se pode alcançar em termos de desenvolvimento de novas tecnologias de aproveitamento do material.

Foto 3 .Coqueiro-da-baía, presente na costa brasileira desde o Pará até Santa Catarina.

Foto do autor.

A fibra de coco é um dos cerca de quarenta produtos ou subprodutos agroindustriais provenientes do beneficiamento do coqueiro (*Cocos nucifera* L.), que é uma das palmáceas de maior utilidade ao homem (Marroquim, 1994). A importância econômica do coqueiro não é superada por nenhuma outra palmeira (Medina, 1959), e em função do grande número de produtos que fornece, o coqueiro é citado com frequência como “A Árvore da Vida”. Obtém-se dela alimento, bebidas fermentadas e não fermentadas, álcool, vinagre, material para cobertura, fibras, material combustível, para calafetagem, para confecção de utensílios domésticos, óleo para alimentação, etc.). Em algumas regiões do Sul da Índia, cultiva-se o costume de consumir o “toddy” (Foto 4), bebida fermentada e alcoólica obtida a partir da seiva da inflorescência de alguns coqueiros. A técnica de coleta da seiva, que deve ser colhida nas primeiras horas do dia, é conhecida por apenas alguns indivíduos de determinada casta social. Trata-se de uma bebida de custo acessível, muito popular nas regiões de cultivo do coqueiro.

Foto 4. “Toddy”, bebida fermentada obtida a partir da seiva do coqueiro.

Foto do autor.

O produto de maior valor comercial é o óleo de coco, que se extrai da prensagem da polpa dos frutos. Tanto a polpa seca, conhecida comercialmente como copra, quanto o óleo, são exportados em grandes quantidades pelas Filipinas e Sri-Lanka, principalmente.

O coqueiro é uma palmeira alta, de caule cilíndrico, que dependendo da variedade, pode atingir de 9 a 30 metros de altura com diâmetros variando entre 20 e 60 centímetros (Marroquim, 1994). É uma árvore tropical que encontra na orla marítima condições ideais de insolação, precipitação pluviométrica e nutrientes do solo. O cultivo do coqueiro está concentrado nos cinturões tropicais da Ásia e da África Oriental (Agopyan, 1991), mas também é encontrado na América Latina, e cultivado comercialmente em vários Estados do Brasil.

A cultura do coqueiro no Brasil data de vários séculos, tendo sido introduzida no século XVII pelos portugueses por meio de mudas provenientes de Cabo Verde (Mello, 1999). O coqueiro acabou por substituir o cajueiro, que era a variedade nativa predominante das

plataformas costeiras do país. A princípio, o coqueiro desempenhava papel meramente ornamental nos jardins dos colégios jesuítas, mas seu caráter utilitário foi se popularizando após as primeiras gerações de colonos.

Dentre as várias espécies de coqueiros cultivados no Brasil, destacam-se as espécies altas, mais comuns, atingindo até 30m de altura (Foto 3), e o coqueiro anão, de frutificação precoce e crescimento mais lento. Cada espécie de coqueiro dá origem a quantidades diferentes de fibra por fruto, e variações nas características físicas e mecânicas das fibras. Calcula-se que para a produção de 70 quilos de fibra aproveitável sejam necessários em média 1000 cocos (Savastano, 1987).

Quadro 6. Área Colhida, Produção e Produtividade Média de coco-da-baía, Regiões Produtoras e respectivos Estados maiores produtores.

REGIÕES	ÁREA COLHIDA ha		PRODUÇÃO Mil Frutos		PRODUTIVIDADE Frutos/ha	
	1994	2001	1994	2001	1994	2001
NORDESTE	216.932	233.380	726.542	935.492	3.349	4.008
Bahia	57.673	80.533	242.796	417.217	4.210	5.181
Ceará	38.581	36.894	137.714	186.784	3.569	5.063
Rio Grande do Norte	35.065	33.850	11.709	87.941	3.186	2.598
Sergipe	49.419	45.703	98.272	91.986	1.989	2.013
NORTE	12.987	16.814	150.041	151.214	11.553	8.993
Pará	12.987	16.814	150.041	151.214	11.553	8.993
SUDESTE	2.660	11.357	25.311	166.844	9.735	14.691
Espírito Santo	1.907	8.895	18.233	132.486	9.561	14.894
Rio de Janeiro	693	2.462	7.078	34.358	10.214	13.955
BRASIL	232.519	261.551	901.894	1.253.550	3.879	4.793

Fonte: IBGE – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (1994/ 2001).

Como se pode observar no Quadro 6, a região Nordeste é a maior produtora, respondendo por 74,6% do total de cocos produzidos no Brasil no ano de 2001. As regiões Sudeste e Norte ocupam o segundo e terceiro lugares com 13,3 e 12,1% respectivamente para o mesmo ano.

Comparando-se a evolução da área colhida no período de 1994 a 2001, nota-se um crescimento superior a 300% na região sudeste, quando as regiões nordeste e norte apresentaram valores de 8 e 30% respectivamente.

O Estado de São Paulo tem pouca participação em termos de área colhida e produção de cocos na região sudeste, mas esse quadro tende a se alterar nos próximos anos em virtude da ampliação da área plantada na região, especificamente no interior do estado de São Paulo onde a produção anual de cocos cresceu 68% em 1999, com volume colhido de 8,114 milhões de frutos e área plantada de pouco mais de 4.000 ha (Folha, 2000).

O maior produtor mundial de coco, segundo dados estatísticos da FAO Production Yearbook de 1999, é a Indonésia, com produção anual superior a 14 milhões de toneladas e responsável por 30% da produção mundial. Em segundo e terceiro lugares aparecem as Filipinas, com 22.6%, e a Índia, com 21% da produção mundial de 48.569 mil toneladas/ano (Quadro 8). A Ásia concentra 86% da produção mundial de cocos. O Brasil aparece em 9º lugar no ranking com 1.5% do total produzido no mundo.

QUADRO 7. Principais Produtores de Fibra de Coco no Mundo

PAÍS	PRODUÇÃO (Toneladas)
ÍNDIA	555.000
SRI LANKA	134.000
MALÁSIA	27.400
BANGLADESH	11.390
TAILÂNDIA	9.000
MUNDIAL	736.790

Fonte: FAO (2001)

QUADRO 8. Principais Produtores de Coco Fruto no Mundo em 2001.

PAÍS / REGIÃO	PRODUÇÃO (Toneladas)
INDONÉSIA	17.000.000
FILIPINAS	10.100.000
ÍNDIA	9.151.500
SRI LANKA	1.950.000
TAILÂNDIA	1.373.162
MÉXICO	1.163.000
VIETNAM	968.000
MALÁSIA	713.000
BRASIL	1.999.106
ÁFRICA	1.703.100
AMÉRICA LATINA & CARIBE	4.034.610
ÁSIA	41.862.456
OCEANIA	2.161.685
MUNDIAL	49.761.851

Fonte: FAO (2001).

FIGURA 1. REGIÕES PRODUTORAS DE COCO NO MUNDO

Fontes: MENON (1958) e FAO (2001)

Ainda conforme dados da FAO, órgão das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, a produção mundial de fibra de coco no ano de 2001 foi de aproximadamente 737 mil toneladas. O maior produtor mundial da fibra é a Índia, responsável por 555 mil toneladas/ano, ou 75% da produção mundial. Em segundo e terceiro lugares vêm o Sri Lanka e a Malásia com 134 e 27 mil toneladas/ano, respectivamente. (QUADRO 7).

2.4.2. Obtenção e Caracterização da Fibra de Coco

A parte mais importante do coqueiro, em termos comerciais, é o seu fruto, o coco, de formato ovalado, com aproximadamente 30 cm de comprimento e 25cm de diâmetro apresentando epicarpo, camada mais externa fina e lisa, mesocarpo áspero e fibroso, e endocarpo bastante duro, com uma grande cavidade central que contém um líquido adocicado (água de coco). A casca fibrosa (epicarpo + endocarpo) que envolve a amêndoa, referida na literatura internacional como “husk”, e de onde se extrai a fibra de coco ou “coir”, pode alcançar de 3 a 5 cm de espessura, de acordo com a espécie e as condições de cultivo.

Figura 2. Estrutura do coco

Fonte: Jarman, (1970-3)

Os feixes fibrosos que formam a fibra de coco comercializada tem seção arredondada com diâmetro de cerca de 3 mm. O comprimento das fibras nacionais varia de 1 a 20 cm. No entanto, suas fibrilas são muito curtas, com comprimentos de 0,4 a 1 mm, e diâmetros na faixa de 0,016 a 0,020 mm (Agopyan, 1991).

As fibras de coco têm baixo teor de celulose, variando de cerca de 50% para as fibras produzidas no Brasil (Agopyan, 1991) a 53% para a fibra de coco comercial (Menon, 1958). De todas as fibras ligno-celulósicas, a de coco é a que contém o menor teor de celulose pura (Medina, 1958), o que implica na sua inadequação à fabricação de pasta para a indústria de papel. Por outro lado, as fibras têm alto teor de lignina, que lhes confere cor escura e potencial para a confecção de chapas aglomeradas (FAO, 1999).

2.4.2.1. O Desfibramento

O segmento do beneficiamento do mesocarpo do coco é a segunda atividade em importância sócio-econômica do coqueiro, precedida do processamento da polpa. A obtenção das fibras do coco pouco evoluiu na maior parte das regiões produtoras, todas situadas em países pouco industrializados.

A partir da década de trinta, foram implantadas no Brasil as primeiras unidades desfibradoras mecanizadas, com as pioneiras Thomás de Aquino (1934) e Textifício Santo Antônio (1939) (Marroquim, 1994), mas em geral, a obtenção das fibras ainda é efetuada por meios rústicos.

O processo clássico de obtenção das fibras inicia-se com a separação da casca fibrosa do resto do fruto por meio de uma lâmina oval ou de máquina simples. Separadas as cascas, elas são submetidas à maceração, que consiste na imersão em água para a desagregação dos tecidos fibrosos. Tradicionalmente, são usados tanques ou reservatórios naturais de água estagnada. O epicarpo, camada mais externa do fruto, é relativamente impermeável, o que requer o esmagamento prévio das cascas para acelerar o processo de maceração. Os tanques tem, em geral, 8 x 3 metros, com cerca de 2 metros de profundidade. Em seguida, opera-se a separação mecânica das fibras em máquinas descorticadoras e sua posterior secagem e seleção.

Da etapa de desfibramento, somente 25% da casca se reverte em fibras multidimensionais aproveitáveis (Savastano, 1987), sendo os restantes 75% não comercializados, denominando-se resíduos. Esses resíduos constituem-se principalmente de fibras de comprimento reduzido e pó de coco, e têm sido utilizados experimentalmente como adubo, sendo que, na verdade, sua função principal é, uma vez misturado ao solo, mantê-lo fofo e reter a umidade.

Recentemente, vêm-se utilizando o pó de coco na formação da cama aviária, substituindo a serragem nos viveiros de aves. Um coco fornece, em média, 70 gramas de fibra (Gomes, 1989).

Segundo dados obtidos em 1998 de um fabricante de Igarassú-PE, o preço da fibra de coco no país varia de US\$ 0,25 a US\$ 1,00 o quilo, dependendo do comprimento das fibras.

Considerando-se a produção nacional de fibra de coco, em cerca de 7 mil toneladas/ano (dados da indústria), pode-se estimar em 21 mil toneladas a quantidade de resíduos gerados no desfibramento do coco durante um ano.

2.4.2.2. A produção de Fibra de Coco em Igarassú-PE

O processo de desfibramento e beneficiamento, como foi observado em uma indústria de Igarassú, maior região produtora de cocos do estado de Pernambuco, pode ser dividido em cinco etapas:

- Recebimento da matéria-prima - As cascas de coco são trazidas em caminhões. Cada caminhão transporta, em média, 32 m³ de cascas que irão render, ao final do processo, aproximadamente 1,3 toneladas de fibra.
- Desfibramento (Foto 5)- As cascas são introduzidas, através de esteira rolante, ao interior da “desfibradeira”, um cilindro-de-martelo com motor de 150 hp, onde são maceradas, ao mesmo tempo em que é introduzida grande quantidade de água. São consumidos 50 mil litros/ hora de água para a lavagem das fibras e retirada de resíduos.
- Secagem (Foto 6)- As fibras são secas ao ar em pátios livres, adquirindo tonalidade castanho-escura.
- Penteamento e seleção (Foto 7)- As fibras são acondicionadas em equipamento que consiste num rolo de pregos, que ao mesmo tempo em que penteia, deixa caírem as fibras de comprimento inferior a 80mm.
- Cordoamento (Foto 8)- Através de uma balança e em processo contínuo, alimenta-se as “eriçadeiras”, ou máquinas de cordoamento, com quantidades determinadas de fibra. Cilindros de metal comprimem as fibras, e um eixo rotativo torce o feixe fibroso formando os rolos de corda. Os rolos servirão para alimentar as máquinas de “blankets” nas indústrias de estofamentos.

Foto 5. Máquina desfibradora com esteira acoplada

Fotos do autor

Foto 6. Secagem das fibras nos pátios

Foto 7. Seleção das fibras em máquina de pentes rotativos

Foto 8. Enrolamento das cordas

A região de Igarassú -PE, é responsável por uma produção de 300 toneladas de fibra/ mês. Destas, 200 toneladas são destinadas à produção de capachos. O processo de fabricação de capachos é semelhante ao de fibra em cordas, substituindo-se as eriçadeiras por máquinas de fiação e teares (Foto 9).

Foto 9. Fiação de fibra de coco em fábrica de tapetes em Igarassú-PE.

Foto do autor

A FIBA Indústria e Comércio Ltda., quando da época da visita, em outubro de 1996, empregava mão de obra de 55 funcionários, com produção mensal estimada de 90 toneladas de fibra em cordas, e 450 toneladas de resíduos.

2.4.2.3. Propriedades e Classificação da Fibra de Coco

A fibra de coco apresenta diversas propriedades valiosas que lhe atribuem importância comercial, entre elas a resistência ao apodrecimento e a grande elasticidade, podendo sofrer alongamento de até 50% sem se romper (Savastano et al., 1997). Sua resistência à água salgada também é bastante conhecida, sendo utilizada em países como a Índia e o Sri Lanka para a manufatura de cordas e redes usados na pesca marítima. Quando utilizada como elemento de união entre as tábuas de madeira de barcos de pesca (Foto10), a fibra de coco atua como reforço na impermeabilização do casco,

uma vez que, em contato com a água do mar, as cordas de fibra aumentam de volume, pressionando os elementos da estrutura uns contra os outros reduzindo assim as frestas existentes.

Medina (1959), estabelece 3 tipos de fibras que se podem obter da casca do coco, a saber:

- 1.) Fibras de fiação: mais longas e finas, empregadas na manufatura de fios.
- 2.) Fibras de escovas: mais curtas e grosseiras, usadas em escovas pincéis.
- 3.) Fibras de estofamento: bastante curtas e aproveitadas como material de enchimento. Também podem ser usadas para confecção de compósitos.

Foto 10. Fibra de coco no casco de barcos pesqueiros em Palolem, Goa, Índia

Fotos do autor

2.4.3. A agro-indústria do coco no Estado de Kerala, Índia

Kerala é um estado com 29 milhões de habitantes no extremo sudoeste da Índia com renda per capita entre US\$298 e US\$350 ao ano (McKibben, 1996). Tem no coqueiro uma importante fonte de renda, alimento e bens de consumo derivados da fibra e acessíveis a grande parte da população. Segundo Isaac (1992), a agroindústria do coco emprega de 250 a 500 mil trabalhadores do estado de Kerala, o que representa de 3.5 a 7% da população economicamente ativa.

As fibras extraídas do fruto fornecem matéria-prima para a fabricação de estofamentos, colchões (Foto 13), diversos tipos de cordas, tapetes e até filtros de ar-condicionado. O coco e seus subprodutos estão muito presentes no cotidiano de

um habitante local (keralite, em inglês). Muitos pratos da culinária típica empregam o coco como ingrediente e mesmo na religião, o coco é levado como oferenda nos cultos a diversas divindades hindus (Foto 11).

Grande parte dos países produtores cultiva o coco para a obtenção da copra (polpa desidratada) e descarta as cascas. No entanto, em alguns países como a Índia e o Sri Lanka, a casca é tradicionalmente beneficiada para extração da fibra. Enquanto que no Sri Lanka essa fibra é majoritariamente exportada, na Índia ela tem uma parcela considerável absorvida pelo mercado interno.

Foto 11. Coco é partido sobre a imagem em culto a Shiva - Hampi, Índia.

Foto do autor

Desde a instalação, em 1859, da primeira indústria têxtil para beneficiamento de fibra de coco em Allepey (Isaac, 1992), o setor vem crescendo em parte graças a uma sólida estrutura governamental de apoio à Pesquisa e Desenvolvimento representada principalmente pelo Central Coir Research Institute -Coir Board, em Allepey, e pelo RRL – Regional Research Laboratory, do Council of Scientific and Industrial Research, em Trivandrum.

O desenvolvimento de agroindústrias e a modernização dos processos de produção tradicionais com o objetivo de geração de empregos em Kerala solicitaram o enfrentamento de uma série de questões relativas às políticas de geração de tecnologia. Aliado a uma herança de disponibilidade de serviços básicos e educação deixada pelos marajás até a criação do estado em 1956,

há o fato de, em 1957, Kerala, ter se tornado um dos primeiros estados comunistas eleitos democraticamente no mundo (Niven, 1998). Desde então, o partido comunista vem, alternadamente com outros partidos, implementando políticas de desenvolvimento que priorizam pequenos empreendimentos e a formação de cooperativas.

FIGURA 3. Estados e territórios da Índia, com Kerala indicado ao sul.

Fonte: www.mapsofindia.com

O processo de beneficiamento da casca do coco que se pode observar em Kerala difere daquele adotado nas regiões produtoras do Brasil em alguns aspectos, sendo predominantemente similar. Duas diferenças mais evidentes puderam ser notadas:

1. A etapa de maceração das cascas tem importância maior no processo, ao qual se atribui a obtenção de fibras de qualidade superior. Dois tipos principais de fibra podem ser obtidos: a “white fibre” ou fibra clara, extraída

de cascas que passaram por maceração e que é usada nos teares, e a “brown fibre”, proveniente de cocos secos não macerados e que são utilizadas nas indústrias de pincéis, escovas e colchões. No Brasil, as indústrias que empregam a fibra de coco em teares se utilizam de cocos verdes, que possuem fibras mais maleáveis, mas a maceração das cascas não é uma prática comum.

2. Após a maceração, as cascas têm a película mais exterior (epicarpo) removida manualmente (Foto 12) para auxiliar a extração da fibra. O processo de desfibramento não emprega eixos de martelo como no Brasil, mas o esmagamento lento por meio de uma máquina que consiste em dois aros circulares entre os quais são depositadas as cascas. Com a rotação, os aros exercem pressão sobre as cascas que sofrem esmagamento liberando as fibras. As fibras mais longas são separadas automaticamente em um dos lados do equipamento. Os procedimentos de seleção e secagem são idênticos aos observados em Igarassú –PE.

Foto 12. Operária prepara cascas de coco para o desfibramento em Allepey, Kerala.

Foto do autor

Na região de Allepey, que concentra a maior parte das indústrias de fibra de coco de Kerala, as características hidrográficas da região favorecem a prática da maceração por ser uma bacia fartamente irrigada por uma série de canais, que podem ter parte de seu curso desviada para os tanques onde as cascas são deixadas imersas por um período que varia de 6 a 9 meses.

Quanto ao potencial de expansão da agroindústria do coco em Kerala, o trabalho objetivo e consistente dos pesquisadores dos institutos tecnológicos e do corpo acadêmico em Kerala e em outras partes da Índia, vem criando uma gama de possibilidades para futuros desenvolvimentos na área de compósitos e estofamentos emborrachados. Há grande potencial para a implantação de indústrias de colchões de crina vegetal (fibra de coco+látex) na região, uma vez que Kerala concentra também a maior parte da produção de látex do país (Economic Survey of India, 1997). Segundo o diretor do Coir Board de Allepey, Dr. U.S. Sarma, o estado de Kerala processa hoje apenas um terço dos cocos produzidos para a extração da fibra, o que resolveria a questão da disponibilidade de matéria-prima para uma futura expansão da agroindústria do coco na região.

Foto 13. Colchões com estofado de fibra de coco.

Foto do autor

O modelo de desenvolvimento adotado em Kerala tem atraído atenção internacional por apresentar indicadores de qualidade de vida semelhantes ao de países industrializados com a maior parte da população vivendo com menos de US\$ 1 ao dia. Como exemplo, a taxa de alfabetização em Kerala é superior a 90%, enquanto que a média para o país não ultrapassa 52%. A mortalidade infantil no estado foi de 27 por mil nascimentos, enquanto que a média na Índia é de 96 (Isaac, 1992). De forma geral, essas conquistas foram obtidas por um histórico de políticas de distribuição de renda há tempos sendo implantadas pelo governo, priorizando investimentos na infra-estrutura social de educação e saúde, com a implementação de salário mínimo para o setor informal e uma bem-sucedida reforma agrária.

3. BIORESINAS

3.1. Introdução

O termo “bioresinas” é utilizado neste trabalho para se referir a qualquer tipo de resina que tenha em sua formulação ao menos um componente de origem vegetal atuando como substituto de substância similar de origem petroquímica.

Adesivos em geral são muito utilizados na indústria e construção civil para colagem de componentes, pisos, carpetes, tubulações, mobiliário, materiais cerâmicos entre uma infinidade de outras aplicações. De acordo com o Instituto para Desenvolvimento da Habitação Ecológica - Idhea, os adesivos convencionais utilizados largamente no interior das construções apresentam quase sempre a emissão de compostos orgânicos voláteis prejudiciais à saúde humana, além de ter praticamente impossibilitada sua recuperação pós-uso para fins de reciclagem.

Neste capítulo, serão detalhados principalmente os adesivos utilizados pela indústria de beneficiamento da madeira, adotados como primeira opção para a colagem das chapas prensadas de fibra de coco.

3.1.1. Adesivos para Madeira

Adesivos são substâncias químicas complexas utilizadas como elemento ligante na fabricação de laminados e aglomerados de madeira. As colas mais utilizadas na indústria madeireira hoje são de origem petroquímica, predominantemente à base de uréia-formaldeído (UF) e fenol-formaldeído (FF). Outras colas utilizadas são a melamina-formaldeído, o resorcinol formaldeído, os adesivos termoplásticos como o polivinil-acetato (PVA) e, em menor escala, os adesivos de tanino vegetal.

As colas à base de UF apresentam vantagens em relação à disponibilidade, custo, e aplicação. Podem ser aplicadas com o auxílio de extensores (geralmente farinha de cereais), que conferem plasticidade à linha de cola, facilitando sua aplicação de forma homogênea. As desvantagens das colas de UF são sua baixa resistência à umidade, e a emissão de formol, um gás tóxico, ao longo da vida útil das chapas, embora já sejam produzidas colas UF de baixa emissão. Têm coloração branca, de aspecto

leitoso, e são muito usadas na produção de aglomerado de madeira. Urotropina (hexametilenotetramina) pode ser utilizada em substituição ao formaldeído na formulação eliminando-se o problema de emissão de formol.

As colas fenólicas (FF), por sua vez, conferem às chapas grande resistência à umidade, porém têm maior custo e exigem cuidado extremo na aplicação por serem tóxicas quando em suspensão no ar. São muito usadas na produção de compensados à prova d'água e também na produção de peças automotivas. Na forma líquida ou em filme, possuem coloração avermelhada. Na forma de pó, adquirem coloração amarela-clara.

As colas fenólicas à base de tanino vegetal são compostas de substâncias naturais contendo fenóis, e que reagem com o formaldeído. Apresentam custo equivalente à UF, baixa toxidade, além de alta resistência à umidade. Não possuem, porém, a mesma disponibilidade e variedade de formulações das sintéticas e têm restrições quanto à forma de impregnação. Têm campo de aplicação similar à resinas fenólicas sintéticas, sendo utilizadas na produção de aglomerado à prova d'água e compensado naval. Possuem coloração castanho-avermelhada e são encontradas em base pó, ou líquida com 45% de sólidos resinosos.

3.1.1.1. Propriedades Específicas

Estabilidade: Também chamada de shelf-life ou storage life, consiste no período limite em que o produto embalado se mantém adequado para uso sob condições específicas de armazenagem.

Pot-life: É o intervalo de tempo durante o qual o adesivo, após adicionado de catalisador ou outro componente, permanece em condições de aplicação no que diz respeito ao espalhamento e à viscosidade.

Tacky: De acordo com a norma ASTM D-907, consiste no período de tempo no qual o adesivo, após aplicado à superfície, apresenta colagem.

Assemblagem: Consiste no intervalo de tempo entre a impregnação do adesivo na placa e a aplicação de pressão / e ou calor sobre ela.

Tempo aberto: É o período em que a placa, após impregnada de cola e montada, permanece sujeita à temperatura de cura sem aplicação de pressão.

Gel-time: Indica a velocidade de polimerização do adesivo. Em geral, varia em proporção inversa ao aumento de temperatura.

3.1.1.2. Histórico

As antigas civilizações já conheciam as colas e a colagem da madeira. No antigo Egito, eram utilizados resinas e betume para colar madeira. O historiador romano Plínio, em “História Natural”, escreveu sobre o uso das colas e a colagem da madeira. Durante a Idade Média, juntamente com outras tecnologias e ciências, a colagem foi quase que completamente esquecida, retomando seu desenvolvimento no século XVI com o uso das colas animais. A primeira patente para a produção de cola de casca de peixe foi concedida em 1754, na Inglaterra. Depois disso foram desenvolvidas na Suíça e Alemanha diversas colas, principalmente à base de caseína. No ano de 1814 foi concedida, nos Estados Unidos uma patente para a produção de cola à base de ossos de animais. A primeira cola sintética, o TEGO-FILME, foi desenvolvido pela empresa Th. Goldsmidt em Essen, Alemanha, no ano de 1929, mas seu custo era alto demais para ter sua aplicação imediata nas indústrias madeireiras. Em 1930, com a criação da resina fenólica líquida, intensificou-se o desenvolvimento de outras colas sintéticas que acabaram por proporcionar a produção industrial em escala de chapas de madeira compensada, aglomerada e de fibras celulósicas. ¹

(1) Revista da madeira, p. 20-26. Janeiro, 1980 s.l.

3.1.1.3. Classificação

Existem várias formas de classificação para os adesivos destinados à colagem de madeira. A classificação pode ser baseada na origem dos componentes primários, na resistência à umidade ou na temperatura de cura.

Na classificação por origem dos componentes primários, os adesivos são subdivididos em dois grupos: os de origem natural e os de origem sintética. Quanto à resistência à umidade, os adesivos podem ser à prova d'água, resistentes à umidade, e não resistentes à umidade.

A classificação por temperatura de cura determina três categorias de adesivo: de alta, média e baixa temperatura de cura. São incluídos no grupo de alta temperatura os adesivos que requerem temperaturas superiores a 90°C para cura. Os adesivos que curam a temperaturas entre 30 e 90°C são considerados de temperatura média, e os adesivos que curam à temperatura ambiente (abaixo de 30°C) pertencem ao grupo de baixa temperatura (Lima, 1983).

3.1.1.4. Classificação por Origem do Componentes Primários

COLAS NATURAIS	<ul style="list-style-type: none"> • Amidos, dextrinas e colas vegetais • Colas proteínicas (caseína, soja) • Colas animais feitas de couro, ossos e pele de peixe • Albumina de sangue de animais • Colas de caseína • Goma-laca • Borracha • Betume 		
COLAS SINTÉTICAS	<table border="0"> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Colas brancas (termoplásticas) • Uréia-formaldeído • Melamina-formaldeído • Fenol-formaldeído • Resorcinol-formaldeído • Epóxi </td><td> <ul style="list-style-type: none"> • Polivinil acetato • Polivinil acrilato • Polietileno • Poliuretano • Borracha sintética </td></tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> • Colas brancas (termoplásticas) • Uréia-formaldeído • Melamina-formaldeído • Fenol-formaldeído • Resorcinol-formaldeído • Epóxi 	<ul style="list-style-type: none"> • Polivinil acetato • Polivinil acrilato • Polietileno • Poliuretano • Borracha sintética
<ul style="list-style-type: none"> • Colas brancas (termoplásticas) • Uréia-formaldeído • Melamina-formaldeído • Fenol-formaldeído • Resorcinol-formaldeído • Epóxi 	<ul style="list-style-type: none"> • Polivinil acetato • Polivinil acrilato • Polietileno • Poliuretano • Borracha sintética 		

Fonte: Lima (1983)

3.2. Resina de Tanino

Os taninos são substâncias fenólicas de estrutura complexa presentes naturalmente no lenho, folha, semente, e principalmente na casca de algumas espécies vegetais. Ocorrem na forma de taninos hidrossolúveis e taninos condensados, sendo os últimos responsáveis por 90% da produção comercial de tanino no mundo, com volume da ordem de 350 mil toneladas/ano (Pizzi, 1983). São solúveis em água, álcool, éter e acetona e possuem alto poder curtente (transformação da pele crua em couro). Possuem a propriedade de reagir com formol e formar uma resina termofixa (Figura 4) com linha de cola resistente à umidade e forte poder adesivo.

Todo o tanino comercial produzido no Brasil provém da casca da Acácia Negra (*Acacia molissima*), também referida como mimosa ou wattle. Pertencente à subfamília das Mimosáceas e nativa da Austrália, essa leguminosa é largamente cultivada no Rio Grande do Sul, onde se registra número superior a 100 milhões de árvores plantadas (Xavier, 1983). A latitude 30°, considerada ideal para cultivo de espécies mais adequadas à extração de tanino, determina uma larga faixa nesse estado, bem como em regiões da Austrália e África do Sul, grandes produtores de extrato. Aparte dos grandes plantios, registram-se no Rio Grande do Sul mais de 20 mil pequenas propriedades que cultivam a Acácia Negra como fator de renda e de renovação do solo (Santana, 1983).

Figura 4. Representação química do adesivo à base de tanino

Fonte: TANAC

Existem outras espécies vegetais no país das quais se pode extrair o tanino. Santana (1983) obteve tanino da casca do mangue (*Rhizophora mangle*), presente abundantemente na costa do Maranhão, e Pizzi e Scharfetter (1978) citam a casca de certas espécies de pinheiros (*Pinus elliottii*, *Pinus patula* e *Pinus radiata*, entre outros) como sendo fontes potenciais de tanino.

O tanino bruto é, por si, um adesivo natural. Porém, seu uso dessa forma proporciona colagens fracas, além de apresentar alta viscosidade e reatividade, o que limita seu uso. Placas de fibra de coco aglomeradas com tanino *in natura* apresentaram baixa resistência à flexão e altíssima absorção de água quando comparadas a placas similares aglomeradas com uréia-formaldeído (Costa e Wiedman, 1996). As colas compostas de tanino modificado acrescido de catalisador reduzem sensivelmente as

propriedades desfavoráveis do tanino bruto, realizando colagens de qualidade com melhor acabamento superficial, como foi observado em processo experimental.

A pesquisa de colas de tanino, iniciada na década de 50 na Austrália, Indonésia, Índia, Estados Unidos e Venezuela ganhou impulso com a crise energética do início dos anos 70, num esforço de se encontrarem substitutos renováveis aos fenóis sintéticos, petroquímicos amplamente utilizados na fabricação de adesivos para madeira laminada (Pastore e Santana, 1981). Na África do Sul, a pesquisa relacionada aos adesivos de tanino, a partir de espécies de Acácia, foi iniciada em 1964. Desde então, uma vasta série de resinas tem sido desenvolvida para fabricação de painéis de madeira, juntas denteadas (finger joints) e vigas.

3.2.1. A Produção de Adesivo de Tanino no Brasil

A TANAC S.A., localizada em Montenegro, a 60 km de Porto Alegre, é uma indústria de produção de tanino a partir da casca da Acácia Negra. Desde sua fundação, em 1948, vem atuando no campo de curtimento de couros e, a partir de 1984, passou também a produzir adesivos para madeira, sendo atualmente a única indústria a comercializar cola de tanino no país. Fabrica comercialmente as colas Phenotan M e Phenotan AG, que apresentam custo, em média, 15 a 20% inferior à fenólica sintética. A Tanac é hoje o maior plantador individual de Acácia Negra do mundo, com mais de 26.000 hectares de florestas próprias, sendo igualmente líder mundial na fabricação e comercialização de seus extratos, com produção de 600 toneladas/ mês.

Foto 14. Acácia Negra e cascas prontas para a extração do tanino

Fotos do autor

A Extrativa de Tanino de Acácia- SETA S.A., também localizada no Rio Grande do Sul, produz pequena quantidade de adesivo, que é consumida na fabricação dos aglomerados à prova d'água que comercializa. As placas de madeira aglomerada com cola de tanino da SETA têm aplicação na construção civil como fôrmas para concreto.

3.2.2. Processo de obtenção

O processo de produção do adesivo Phenotan sólido a partir do beneficiamento da casca da acácia (Foto 20) como foi observado na fábrica da TANAC em Montenegro – RS, é composto das etapas de recebimento da matéria-prima, moagem, extração, evaporação, reação, secagem e condicionamento, conforme segue:

A) RECEBIMENTO DAS CASCAS :DEPOIS DE CORTADAS AS ÁRVORES, AS CASCAS SÃO RETIRADAS AINDA NAS FLORESTAS DA PRÓPRIA TANAC OU DE AGRICULTORES DA REGIÃO. A ACÁCIA NEGRA TEM UM CICLO VEGETATIVO DE 7 ANOS, PERMITINDO UM RÁPIDO REPLANTIO E GARANTINDO SEMPRE ALTO VOLUME DE MATÉRIA PRIMA. ▶

◀ B) MOAGEM: AS CASCAS SÃO MOÍDAS E TRANSPORTADAS EM ESTEIRAS ATÉ O SISTEMA DE EXTRAÇÃO. TODA A ENERGIA CONSUMIDA PELO COMPLEXO DE PRODUÇÃO DO EXTRATO É FORNECIDA PELAS CALDEIRAS DA FÁBRICA.

◄ C) Extração : Na etapa da extração são fornecidas as condições adequadas para que o tanino se dissolva na água. Cada casca rende de 20 a 30% de tanino sobre massa. O processo consiste em submeter a casca a lavagens em contracorrente. Água é o único solvente utilizado.

◄ D) Evaporação: O líquido extraído é conduzido aos evaporadores, onde tem aumentada sua concentração de sólidos dissolvidos. As caldeiras que fornecem energia ao sistema são alimentadas exclusivamente pelas cascas esgotadas e pelos galhos das árvores. As toras de madeira são exportadas, destinando-se a indústrias de papel e celulose.

◄ E) Reação: O extrato concentrado é adicionado de reagentes que irão atribuir certas características ao produto, de acordo com o uso final adotado. Na produção do adesivo, pode-se controlar, por meio de manipulação química nos reatores, certas propriedades como resistência à água, pot-life e tempo de assemblagem. É possível também incorporar o catalisador na formulação do adesivo, evitando assim o contato com vapores irritantes durante a preparação da cola e prensagem.

◀ F) Secagem: Nesta etapa, é removida a água da solução de tanino já modificado quimicamente. O processo é conduzido em um spray drier, um secador de grandes dimensões, que apresenta em seu interior um dispersor central aquecido, que promove a separação do material sólido dissolvido na água, por evaporação desta. O produto na forma pó é embalado na base do equipamento.

Fotos do autor

G) Embalagem e armazenamento: ▶

Os produtos são armazenados na fábrica em condições especiais e acondicionados em diferentes tipos de embalagem. A linha de produtos da TANAC atende às áreas de curtume (transformação de pele animal em couro), floculantes (tratamento de efluentes), resinas (adesivos para madeira), corantes e aditivos (agroquímica, cerâmica e perfuração de poços).

3.3. Resina de LCC (Líquido da Castanha do Caju)

No período de 20 a 24 de Fevereiro de 2002, foi realizada visita técnica ao PADETEC, encubadora de empresas da Universidade Federal do Ceará. Uma das empresas que fazem parte da incubadora, a indústria Aglodeste –Aglomerados do Nordeste Ltda., sob responsabilidade do pesquisador Tarciso Bessa, utiliza como matéria-prima o LCC (Líquido da Castanha do Caju), que por meio de polimerização e prensagem com resíduos agrícolas é transformado em material tipo isolante com muitas aplicações potenciais na construção civil. Apesar de equipada e instalada, a Aglodeste não se encontrava em atividade na ocasião da visita, só aceitando pedidos

sob encomenda e em grandes quantidades. Segundo Bessa, o processo desenvolvido por ele pode ser aplicado na produção de telhas (Foto 15) tubos para esgotos sanitários, fabricação de circuitos impressos, papel isolante entre outras aplicações.

Foto 15. Telhas com LCC como aglomerante de fibras vegetais (E) e resíduo mineral (D)

Fotos do autor

Há pouco material publicado disponível acerca do processo de polimerização do LCC na Aglodeste, mas em consulta ao pesquisador Tarciso Bessa, foram levantadas algumas informações relevantes sobre a fabricação de resina fenólica a partir do LCC no Brasil:

1. O Líquido da Castanha do Caju é um subproduto do beneficiamento da castanha gerado no processo de retirada da película que envolve a mesma. A partir das cascas que envolvem a castanha é produzido um óleo que passa por processo físico químico gerando um polímero fenólico (LCC) que pode ser usado como elemento ligante de resíduos da agricultura e mineração. O LCC é um adesivo similar ao de tanino, já utilizado nesta pesquisa, porém com grande resistência à umidade. No processo de polimerização, também requer o uso de formaldeído, ou outro endurecedor.

2. O estado do Ceará produz 12.000 toneladas/ ano de óleo de castanha de caju a um custo de US\$ 300,00 a tonelada. A Aglodeste tem capacidade instalada para produzir 224 toneladas/ mês de LCC a US\$ 0,70 o quilo.
3. A Aglodeste produz painéis de divisórias com resíduo de cascas de arroz com excelente isolamento térmico e acústico e baixa absorção de água. Os painéis têm custo final ao consumidor de R\$ 30,00 por metro quadrado montado.

Não foi possível a obtenção de pequena quantidade de LCC para a realização de experimentos no âmbito desta pesquisa, inviabilizando sua adoção como aglomerante alternativo no compósito de fibra de coco.

3.4. Resina Poliuretana de Óleo de Mamona

Em anos recentes, vem aumentando a oferta no mercado nacional de resinas (polímeros) obtidas a partir de óleo extraído de sementes de mamona (*Ricinus communis*) (Foto 16). A resina poliuretana (PU) de óleo de mamona substitui com vantagens a similar de origem petroquímica e apresenta grande número de aplicações comerciais, desde plásticos especiais a adesivos e próteses ósseas.

Foto 16. Planta de mamona, sementes de onde é extraído o óleo e sistema de resina

Fontes: www.botany.hawaii.edu / foto do autor

Na construção civil, a resina poliuretana (PU) de óleo de mamona se apresenta como alternativa a materiais betuminosos na impermeabilização de lajes (Ferreira e Vecchia, 2000), tanques e caixas d'água. O produto, de nome comercial "Impermaster", fabricado em Araraquara, SP, pela empresa Construquil Ltda., foi utilizado como filme impermeabilizante nos protótipos de telha produzidos experimentalmente nas etapas finais desta pesquisa e também como aglomerante do compósito de fibra de coco em substituição à resina de tanino, com bons resultados.

A resina é obtida a partir de sistema bi-componente, misturando-se o polioliol (à base de óleo de mamona) com o pré-polímero (isocianato). A proporção entre o polioliol e o pré-polímero irá determinar a dureza do produto final, aumentando a dureza à medida que se adiciona mais pré-polímero à mistura.

Segundo Silva (1996), resinas poliuretanas usadas como aglomerantes para revestimentos poliméricos são do tipo elastoméricas e, em seu estado endurecido, têm características de borracha dura. Porém, ainda de acordo com o mesmo autor, diferentemente das borrachas, resinas PU tem a capacidade de se alongar de 50 a 150 % antes do rompimento. Quando aplicada como sistema de impermeabilização, a poliuretana forma uma manta de até 3 mm de espessura, inóspita à proliferação de micro-organismos (Almeida e Ferreira, 1999).

Foto 17. Aplicação de resina PU de mamona para piso industrial

Fonte: Prof. Dr. Osny Pellegrino Ferreira -EESC.

4. DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO DE FIBRA DE COCO E RESINA VEGETAL

4.1. FASE I : ESTUDO EXPLORATÓRIO

Esta etapa do trabalho desenvolveu-se durante o ano de 1995 como Iniciação Científica pelo CNPq, com o apoio da Divisão de Produtos Florestais do IPT.

4.1.1. Histórico

As primeiras idéias que estimularam a realização desse estudo tinham como principal objetivo o desenvolvimento de um material que se originasse do aproveitamento de resíduos industriais.

Inicialmente, optou-se pela investigação do potencial de aproveitamento dos resíduos provenientes do beneficiamento de toras de madeira. Após uma série de consultas a pesquisadores da área, especialmente ao arquiteto Gilson Lameira de Lima, que àquela época desenvolvia, junto ao IPT, um extenso trabalho na área de tecnologia da madeira, levantaram-se os primeiros dados relativos à extração e beneficiamento de madeira de *Pinus* da região sudoeste do Estado de São Paulo.

As informações preliminares davam conta de um grande volume de resíduos gerados nas etapas de desdobro e beneficiamento, porém de difícil quantificação e coleta, visto que o resíduo é gerado de maneira pulverizada, por dezenas de serrarias e usinas localizadas, principalmente, entre as cidades de Itapeva, Itararé, Buri e Capão Bonito. Em regiões de plantios sem manejo florestal, o rendimento chega, segundo Lima (1990), a no máximo 10% de madeira serrada por metro cúbico de tora bruta.

Com o auxílio do engenheiro Luis Tadashi Watai, também no IPT, obtiveram-se as primeiras informações a respeito de fibras naturais e seu emprego como material de construção. Decidiu-se, então, pelo aprofundamento na área de fibras naturais brasileiras, por ser um campo de conhecimento carente de estudo, se considerarmos a diversidade de espécies fibrosas nativas e seu potencial como agente de desenvolvimento econômico.

Dentre as fibras estudadas, as fibras de coco destacaram-se por apresentarem alta disponibilidade no país, baixo custo e propriedades físico-químicas aparentemente adequadas à confecção de painéis com resina.

4.1.2. Materiais e Métodos

A fibra de coco utilizada foi cedida pela Cia. Teperman Estofamentos, localizada em São Paulo, capital, e se trata de resíduo proveniente do processamento industrial da fibra de coco para confecção de estofamentos automotivos.

O material foi reprocessado e avaliado nos laboratórios do IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas, com o auxílio de técnicos e pesquisadores do Instituto.

4.1.2.1. Preparação das fibras

As fibras foram inicialmente levadas ao laboratório ATM, da Divisão de Metalurgia do IPT, onde foram selecionadas em um classificador mecânico equipado com um conjunto de 3 peneiras com malhas de 0.30, 0.71 e 1.41 mm. Do material retido na malha de 1.41 mm, 13 % consistia de bucha entrelaçada, descartado para uso na confecção das chapas. A amostragem total utilizada para obtenção dos dados do quadro a seguir foi de 147.9 gramas.

QUADRO 9. Separação da amostragem por comprimento de fibra

<i>PENEIRA</i>	<i>ABERTURA (mm)</i>	<i>MASSA</i> <i>(gramas)</i>	<i>%SOBRE TOTAL</i>
A	1.41	91.20	62
B	0.71	33.38	23
C	0.30	23.32	15

Após análise do material obtido na separação, definiram-se dois métodos de seleção das fibras: manual, no qual um emaranhado de fibras é agitado sobre uma superfície plana até que restem apenas as fibras mais longas, e por máquina, onde as fibras são processadas em picador de martelo até atingirem o comprimento desejado.

As partículas selecionadas apresentavam umidade de 12 a 13 % e foram secas em estufa a 105 °C por 48 horas, atingindo teor de umidade de 0 %, e então re-hidratadas até atingirem o razão de 1,5 % de água sobre a massa seca.

4.1.2.2. Preparação dos adesivos

Selecionaram-se dois tipos de resinas para serem utilizadas como adesivos na fabricação de chapas aglomeradas com fibra de coco, sendo uma de origem vegetal (tanino), e outra sintética (uréia-formaldeído). O tanino líquido e o adesivo Cascamite PL2030, foram cedidos respectivamente pela SETA - S.A. Extrativa de Acácia, e pela Alba Química Indústria e Comércio Ltda.

O tanino foi utilizado nos tratamentos sem qualquer modificação química, sendo aplicado na forma de solução a 48 % de sólidos resinosos. Inicialmente, após diluição em água, o extrato bruto foi misturado a uréia-formol (UF) na proporção de oito partes de tanino para duas partes de UF. A mistura, porém, talhou imediatamente ao se adicionarem os reagentes, mostrando-se inadequada para a utilização como adesivo. De acordo com o que se pode aferir posteriormente da literatura, teria sido necessária correção do Ph para que ocorresse a mistura homogênea.

Para a preparação do adesivo com uréia formol, seguiu-se a recomendação do boletim técnico fornecido pelo fabricante misturando-se água a 85 % e sulfato de amônia a 2%. Dispensou-se o uso de extensor na formulação.

4.1.2.3. Fabricação das chapas aglomeradas

Confeccionaram-se oito chapas de 150x80x13 mm para quatro variantes, com o mínimo de duas replicações cada. Os tratamentos utilizados foram obtidos combinando-se os seguintes parâmetros:

-Dois tipos de resinas	- Dois métodos de separação
• Uréia-formol	• Manual
• Tanino	• Máquina (picador de martelo)

No processo de confecção das chapas, procurou-se manter constantes as seguintes condições:

- Densidade: 0.65 g/cm³
- Porcentagem de resina sobre massa de fibra: 12 %
- Pressão de prensagem: 25,5 kgf/cm²
- Temperatura de prensagem: 115° C para Uréia-Formol e 155° C para Tanino.

Foto 18. Primeiros corpos de prova em câmara climatizada do LPFMM no IPT.

Foto do autor

4.1.2.4 Avaliação da Qualidade das Chapas Aglomeradas

Após prensagem, resfriamento e repouso, as chapas tiveram as bordas aparadas e foram cortadas dimensões de 15x15x2,6 cm, sendo mantidas em sala climatizada (Foto 18) até a realização dos ensaios. De cada chapa foram retirados quatro corpos de prova para cada um dos seguintes testes e determinações:

- Teor de umidade;
- Massa específica (densidade);
- Inchamento de espessura após 2 e 24 horas de imersão em água;
- Resistência à flexão estática (módulo de ruptura);

Os corpos de prova foram ensaiados seguindo as especificações da norma ASTM-D1037 (American Standards for Testing and Materials). Realizaram-se os ensaios mecânicos em uma máquina universal de testes INSTRON.

4.1.3. Resultados e discussão

De todo o material recebido da Cia. Teperman Estofamentos, apenas uma pequena parcela (8 %) não pôde ser aproveitada para a confecção de chapas aglomeradas, tratando-se de buchas de fibras entrelaçadas com

resíduos de outra natureza, em geral látex, aglomerante utilizado nos estofamentos de crina vegetal.

QUADRO 10. Propriedades físico-mecânicas e higroscópicas das chapas

Corpo de Prova	Inchamento (%)		MOR (MPa)
	2 horas	24 horas	
UF- 01	6.90	15.70	22.35
UF- 02	6.76	16.23	20.11
UF- 03	11.54	21.62	11.99
UF- 04	18.52	31.28	13.41
UF- 05	14.69	26.25	12.13
UF- 06	13.89	22.20	16.98
T- 01	173.45	224.11	8.81
T- 02	168.89	223.89	6.25
T- 03	147.62	198.27	5.60
DIN 68761 ¹	6.0 max.	15 max.	17.65 min.
Aglomerado Comercial (Madepan 13mm)	8.0 max.	—	17.65 min.

¹GERMAN STANDARDS COMMITTEE (Deutschen Normenausschuss). Taschenbuch 31, Holz. 1971. *Specifications for particleboard*. DIN 68761 (1) -1961, (3) -1967.

O adesivo de tanino apresentou “blow up” durante a prensagem das primeiras chapas. Por “blow up” entende-se a formação de um bolsão de vapor no interior da chapa, que provoca sua delaminação após a retirada de pressão.

A ocorrência desse fenômeno está associada à porcentagem de sólidos nas resinas, que é importante para se evitar a formação de um colchão com excesso de umidade durante a prensagem. Foram então reduzidos a porcentagem de água na formulação do adesivo e o teor de umidade das fibras, mantendo-se assim a viscosidade adequada à aplicação manual. As chapas prensadas com tanino apresentaram baixo módulo de ruptura e

altíssima absorção de água, indicando a necessidade de reformulação do adesivo.

O desempenho das chapas prensadas com uréia-formol foi superior às de tanino, apresentando valores razoáveis de módulo de ruptura e absorção de água, e em alguns casos aproximando-se muito dos valores permitidos por normas internacionais. O Quadro 10 apresenta os resultados dos ensaios de flexão estática e inchamento de espessura dos corpos de prova utilizando tanino (T) e uréia-formol (UF).

Gráfico 1. Absorção de água dos tratamentos com Uréia- Formol

Gráfico 2. Absorção de água dos tratamentos com tanino bruto

4.1.4. Conclusão sobre os ensaios

Os resultados obtidos nos ensaios indicam a viabilidade técnica do uso da fibra de coco como matéria-prima para produção de chapas aglomeradas.

De um modo geral, os valores encontrados para a flexão estática podem ser considerados satisfatórios, sendo que em dois casos (U-01 e U-02) ultrapassaram o mínimo especificado pela norma. Os mesmos corpos de prova, quando submetidos ao ensaio de inchamento, apresentaram valores de incremento de espessura ligeiramente superiores ao máximo permitido pela norma, mas perfeitamente aceitáveis quando comparados aos de um aglomerado comum de partículas de madeira.

O alto inchamento apresentado, de maneira geral, pelos tratamentos testados é bastante preocupante, mas não inviabiliza o processo, uma vez que várias alternativas podem melhorar os resultados obtidos. Uma das possíveis soluções é a aplicação de emulsão de parafina durante o processo de preparação das chapas, prática comum na indústria de aglomerados de madeira. Outra alternativa seria a manipulação química dos adesivos: Santana e Teixeira (1993) obtiveram ótimos resultados com adesivos à base de tanino, hidróxido de sódio e paraformaldeído em chapas aglomeradas.

Logo após o período de realização dos ensaios, pudemos dispor de amostras de um adesivo de tanino modificado (Phenotan, fornecido pela TANAC S.A.) com maior resistência à água, aplicado na formulação do material para o protótipo.

4.2. FASE II: PROPOSTA DE APLICAÇÃO EM MOBILIÁRIO ESCOLAR

Uma vez determinada a tecnologia e o processo básicos para a produção das chapas aglomeradas de fibra de coco, passou-se à etapa de aplicação dessa tecnologia na confecção de peças moldadas. A configuração do processo de produção desenvolvido, juntamente com as propriedades mecânicas da fibra de coco indicava a possível vocação do material como elemento moldável.

A Fase II deste estudo teve início em 1996 com o apoio da Cia. Teperman de Estofamentos e da FAPESP, por meio de Auxílio à Pesquisa (proc. 95/04258-2).

4.2.1 Produção do protótipo

As primeiras placas produzidas no IPT tiveram como matéria-prima um resíduo do processamento da fibra de coco para a produção de estofamentos de crina vegetal na Cia. Teperman de Estofamentos. Após análise dos resultados obtidos com o estudo exploratório, a empresa ampliou sua participação no projeto cedendo material e recursos humanos para a produção de um protótipo de conjunto de mobiliário escolar, com mesa e cadeira (Figura 6).

FIGURA 5. Vistas de maquete eletrônica da cadeira escolar

Arte: Rastko Kovacevic “K”

4.2.1.1 Projeto de mobiliário escolar

O projeto do mobiliário consistia originalmente em um conjunto de cadeira e mesa para uso em escolas secundárias. Porém, com a interrupção abrupta dos trabalhos em função do fechamento da Cia. Teperman, em dezembro de 1996, foi possível concluir somente a execução do protótipo da cadeira (Figura 5), em duas versões: com e sem acabamento de madeira.

FIGURA 6. Projeto executivo do conjunto escolar

Projeto do autor

4.2.1.1.1. Memorial Descritivo

O projeto de carteira escolar desenvolvido teve como ponto de partida a análise e avaliação das carteiras escolares atualmente em uso pelas escolas públicas de São Paulo, cujo projeto deriva de estudos realizados em 1978 pelo professor e designer Karl Heinz Bergmiller para o extinto Centro Brasileiro de Construções escolares (Cebrace), do Ministério da Educação (Cebrace, 1978).

O projeto propõe, dentro de uma perspectiva realista de custo de produção, um desenho que, ao mesmo tempo em que privilegia o desempenho funcional do objeto, procura explorar ao máximo as potencialidades formais do material desenvolvido.

Os componentes de assento e encosto foram embutidos na estrutura e emoldurados por perfis, tendo em vista a proteção das peças de fibra. Isso propicia ao conjunto uma alta resistência a impactos laterais como, por exemplo, o da cadeira sendo arremessada contra a parede. A barra horizontal na parte posterior do encosto tem por função facilitar o manuseio e arranjo das cadeiras em sala de aula.

A cadeira escolar proposta consiste basicamente de uma estrutura tubular em aço 1010 com espessura de 25,4mm (1") e espessura de chapa de 1,2mm, onde são fixados o assento e o encosto, feitos de fibra de coco aglomerada moldada revestida com folha de madeira ou papel resinado "tegofilm". As peças de aglomerado de fibra possuem fechamento de topos em resina acrílica e acabamento em verniz fosco. A estrutura, assim como os pontos de fixação, levam em conta a máxima proteção dos componentes e a durabilidade do conjunto, uma vez que, depois dos equipamentos de uso militar, o mobiliário escolar é o mais requisitado em termos de resistência e robustez.

4.2.1.1.2. Por que mobiliário escolar?

O desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias no setor de mobiliário escolar contribui para que se tenham opções alternativas à madeira e ao plástico, utilizados atualmente pelas indústrias para fabricação de componentes para cadeiras e mesas.

Segundo o arquiteto Ricardo Grisolia Esteves, coordenador de especificações da FDE -Fundação para Desenvolvimento da Educação, a madeira vem sendo gradativamente substituída pelo polipropileno (PP) nos últimos anos por motivos de

custo, combate à exploração ilegal de reservas e também por falta de alternativas que cumpram aos requisitos de funcionalidade e custo especificados pela Fundação.

Mobiliário escolar é um item de extrema importância a todas as esferas governamentais por ser produzido em larga escala no país, além de ser um benefício usufruído por grande parte da população. Só no estado de São Paulo foram consumidas, de 1987 até julho de 1996, próximo de um milhão e quinhentas mil de carteiras e cadeiras escolares em compras da FDE para escolas estaduais de 1º e 2º graus no Estado de São Paulo. Um volume adicional considerável é consumido pelas instituições de ensino privadas e pré-escolas.

4.2.1.2. Preparação das fibras ▼

O processo de produção utilizado para a confecção dos corpos de prova, no qual fibras curtas eram impregnadas manualmente de resina, foi substituído por um processo industrial piloto, adaptando-se a linha de produção já existente na Cia. Teperman de Estofamentos. A fibra de coco, inicialmente na forma de cordas em rolo, é processada em uma máquina de mantas que deposita as fibras uniformemente ao longo de uma esteira (Foto 18).

Foto 18. Máquina formadora de mantas.

Foto do autor

Esses “colchões” que se formam são pulverizados de látex de um lado, curados em estufa acoplada ao equipamento e depois o processo se repete para o outro lado.

Para a confecção do protótipo, as fibras passaram a ser utilizadas na forma de mantas de 50mm conformadas com uma solução aquosa de cola PVA a 20% (v/v). Foram necessárias modificações na máquina formadora de mantas, substituindo-se o látex, originalmente pulverizado sobre as fibras, por cola termoplástica. Constatou-se experimentalmente que a cola PVA interage melhor com o adesivo aplicado para a prensagem das placas. A presença de látex nas chapas prensadas impede a formação de uma superfície de cola homogênea, resultando em colagens pobres.

Antes de serem impregnadas com adesivo, as mantas de fibra permaneciam em estufa até atingirem umidade específica de 5% de água sobre massa seca.

4.2.1.3. Preparação do adesivo

Apesar dos resultados insatisfatórios apresentados pelos corpos de prova colados com tanino, decidiu-se aprofundar a investigação acerca da aplicação de resina vegetal como adesivo. A indústria Tanac S.A. forneceu amostras do adesivo tanínico comercial Phenotan AG, que foi utilizado na colagem das peças do protótipo.

O adesivo foi recebido na forma de solução a 48% de sólidos resinosos e adicionado do catalisador paraformaldeído, na forma pó, na proporção de 5% sobre massa, conforme recomendações do fabricante. Porém, nem todo o catalisador se dissolvia no adesivo, o que ocasionava entupimento da pistola durante a aplicação. O problema foi em parte solucionado dissolvendo-se previamente o catalisador em água quente.

4.2.1.4. Execução do Modelo Volumétrico em Escala Real

O modelo volumétrico foi executado de forma bastante artesanal e proporcionou que fossem realizados os ajustes estruturais e dimensionais necessários à elaboração do modelo final. As fôrmas executadas em madeira não apresentaram a resistência mecânica necessária à prensagem das peças em fibra, e serviram para a moldagem das peças em madeira laminada.

Estudou-se uma forma alternativa de fixação dos pés posteriores da cadeira, em que se elimina a necessidade de ponteiras de plástico, presentes no projeto inicial. A forma dos pés também precisou ser alterada para possibilitar empilhamento.

4.2.1.5. Execução das fôrmas ▼

Modelos tridimensionais das peças de assento e encosto foram confeccionados e acondicionados num dispositivo de digitalização (fresa CNC). A partir do desenho resultante, o software do próprio equipamento gerou o projeto executivo das fôrmas, que foram

usinadas a partir de um bloco maciço de alumínio naval, utilizando-se ainda o mesmo equipamento. Depois de usinadas, tiveram instaladas as resistências elétricas de aquecimento totalizando 8500 watts de potência.

4.2.1.6. Prensagem das peças ▼

As mantas confeccionadas foram cortadas na forma aproximada das peças e pulverizadas com resina (Phenotan) imediatamente antes da prensagem. Para evitar delaminação por bolha de vapor durante a prensagem, a umidade das fibras foi controlada, permanecendo as mantas cortadas em estufa a 80° C por 24 horas. Depois de fixadas na prensa, as

fôrmas foram aquecidas à temperatura de 170° C e receberam os colchões de fibra impregnados de resina. Aplicou-se pressão de 25kgf/cm² por 3 minutos, e após serem retiradas dos moldes, as peças permaneceram em repouso por 6

horas para resfriamento antes de terem as bordas aparadas. Para efeito de acabamento, lâminas de madeira foram impregnadas de adesivo e prensadas em conjunto com os “colchões” em um dos protótipos. Para evitar rompimento das lâminas, estas devem ter o sentido das fibras acompanhando as linhas das curvas mais acentuadas.

4.2.1.7. Execução da Estrutura Tubular, Pintura e Montagem ▼

Depois de soldados os componentes, a estrutura tubular passou por um processo de fosfatização e recebeu pintura eletrostática a pó. Segundo as normas estabelecidas pela FDE para mobiliário escolar, não podem existir rebarbas nas áreas de corte e solda, e os acabamentos devem ser foscos, evitando ofuscamento. O modelo final foi projetado levando em conta as determinações da FDE, assim como as da norma DIN 5970 alemã, que estabelece certas propriedades ergonômicas para mobiliário escolar.

Duas alternativas foram estudadas para a fixação do assento e encosto na estrutura. Uma delas envolve o embutimento de uma “porca-de-garras” na peça, que proporciona um acabamento superficial perfeito, mas requer um processo de acoplagem complexo, elevando o custo final do produto. Outra alternativa seria a fixação através de rebite de repuxo “pop”, que

tem um custo menor, mas fica aparente na superfície das peças. Para a montagem dos protótipos (Fotos 19 e 20) adotou-se a primeira alternativa, que se mostrou economicamente inviável para a produção em escala industrial.

4.2.2. Considerações sobre a execução do protótipo de cadeira escolar

O projeto original da cadeira escolar foi revisto e alterado ao longo de todo o processo em função das novas alternativas tecnológicas de que pudemos dispor. Baseado em nosso modelo volumétrico (mock-up), montou-se um novo conjunto de assento e encosto em madeira e massa plástica, correspondendo exatamente aos novos desenhos e executados com maior precisão. As peças passaram por um processo de leitura tridimensional computadorizada, que gerou o desenho das fôrmas a serem usinadas a partir de dois blocos de alumínio.

A estrutura tubular em aço também foi reavaliada e teve as curvas ajustadas de acordo com os limites impostos pelas máquinas utilizadas em sua produção. O diâmetro e espessura de parede do tubo utilizado também foram alterados, passando-se a adotar um tubo de 1 polegada com espessura de parede de 1.2mm, por razões de custo-benefício.

Foto 19. Protótipos de cadeira escolar com e sem acabamento em madeira

Foto 20. Vista posterior e detalhes dos protótipos

Fotos do autor

4.3. FASE III: MONTAGEM DE LABORATÓRIO DE PRODUÇÃO NO IPT E REALIZAÇÃO DE NOVA BATERIA DE ENSAIOS.

Em espaço cedido pela Divisão de Produtos Florestais do IPT, via convênio com a FAUUSP, montou-se o Núcleo Experimental de Pesquisa de Compósitos – NEPEC, parte do LABPROD - Laboratório de Produtos para o Edifício e o Ambiente Construído e sob coordenação do Professor Carlos Zibel Costa, do Departamento de Desenho Industrial,. Instalado em área anexa ao Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira (LPFMM), o NEPEC (Foto 21) compõe-se basicamente de prensa de pratos aquecidos com capacidade de 100 toneladas, bancada para manipulação de reagentes, misturador de resina, e cabine ventilada para aplicação de adesivo.

Os equipamentos foram adquiridos com recursos de Auxílio à Pesquisa Fapesp (processo n. 98/06786-4), destinados também à realização de uma completa bateria de testes para a caracterização do compósito em estudo.

O processo de produção anterior foi revisto e aperfeiçoado, resultando em chapas das quais foram retirados os corpos de prova para a realização de ensaios mecânicos, físicos e biológicos nos laboratórios do IPT.

4.3.1. Materiais e métodos

Com o encerramento de atividades da Cia. Teperman, deixou de existir o único produtor de mantas de fibra de coco em escala industrial do país, e assim permaneceu até a implantação, em 1998, de uma nova indústria de processamento de fibra de coco no Estado de Pernambuco voltada à produção de vasos. Foi solicitado o fornecimento de mantas em processo especial a essa empresa, que se encontrou impedida de fornecê-las dentro do cronograma da pesquisa. Outra fábrica, destinada ao processamento das fibras para estofamentos automotivos, encontrava-se em processo de implantação em Belém do Pará. Diante desse panorama, foi solicitado à Pronamazon, na Ilha de Marajó, o fornecimento das mantas produzidas por processo manual. Instruções foram transmitidas aos operários da cooperativa, que adaptaram seu processo para produzir mantas de dimensões 50x60x5 cm aglomeradas com PVA. A cooperativa construiu fôrmas nas dimensões solicitadas e

confeccionou um total de 500 mantas, enviadas em caixas ao laboratório de produção, no IPT. As mantas fornecidas pela Pronamazon, apesar de constituídas de fibras de melhor qualidade, não apresentaram a mesma homogeneidade das mantas produzidas industrialmente.

Os bons resultados apresentados pelos componentes do protótipo de cadeira escolar, embora não tenham sido quantificados, levaram à adoção definitiva do adesivo de origem vegetal como aglomerante dos painéis de fibra de coco. Com o auxílio da Tanac S.A., fabricante do adesivo, esses resultados foram superados pelas chapas confeccionadas no IPT para extração de corpos de prova.

Foto 21. Vista do Núcleo Experimental de Pesquisa de Compósitos no IPT.

Foto do autor

4.3.1.1. Revisão do processo de produção anterior

Instalados os equipamentos no laboratório e recebida a matéria-prima, iniciou-se a análise do processo piloto adotado na Cia. Teperman para a produção do protótipo de cadeira escolar. Foi evidente o avanço alcançado em relação à fase exploratória, especialmente em termos da adequação do processo aos meios de produção. Porém, com a eliminação de algumas das operações adotadas, pode-se reduzir o custo final do produto, segundo cálculo de viabilidade econômica realizado na época pela indústria. A etapa de

secagem das fibras, por exemplo, demanda alto consumo energético e a incorporação de estufa linear para produção em escala. Outro problema encontrado nos protótipos foi a superfície grosseira das peças. Num esforço de sanar esses problemas, estabeleceu-se valiosa parceria com a indústria Tanac S.A.

Nas primeiras tentativas, houve dificuldade em se reproduzir a qualidade alcançada na produção das peças moldadas. A atividade experimental na indústria ocorreu de forma descentralizada, tornando difícil o acompanhamento e controle de todas suas operações.

Amostras de fibra de coco foram enviadas à Tanac, que realizou testes visando a adaptação do adesivo a esse material. As informações obtidas pelos ensaios levaram à modificação do processo de produção experimental, excluindo-se a etapa de secagem das fibras. Constatou-se que, por suas características higroscópicas, a fibra de coco absorve o adesivo para o seu interior, prejudicando a colagem das placas, e que fibras com umidade superior a 6% tem mais condições de proporcionar painéis de melhor qualidade.

4.3.1.2. Preparação do adesivo

Os primeiros painéis prensados demonstraram que a impregnação do adesivo nas fibras seria um fator crítico para a qualidade das colagens. A aplicação por pistola, além de gerar muita perda, é de difícil controle. Existem alternativas, como a aplicação da resina na forma de pó, que demanda equipamento de porte, sendo destinado à grande produção. Dentro da

escala laboratorial, com produção de pequeno número de chapas, a aplicação por spray, apesar das desvantagens, manteve-se como a mais adequada.

Para se obter uma impregnação de resina mais homogênea possível nas circunstâncias apresentadas, foi de fundamental importância a assessoria de um técnico especializado enviado gentilmente pela Tanac, para confecção das chapas planas e das telhas. O adesivo utilizado foi Phenotan M em base pó, recebido em sacos de papel Kraft com 50 kg. A preparação começa pela hidratação do adesivo, obtendo-se uma solução a 45% de sólidos. Então, minutos antes da aplicação, é adicionado o catalisador na proporção de 10% sobre massa. A mistura foi adicionada de 30% de água para atingir viscosidade apropriada à aplicação com pistola. Para efeito de formulação, foi considerado o teor de umidade de 6% para o adesivo em pó.

4.3.1.3. Preparação das fibras ▼

A fibra de coco foi recebida na forma mantas confeccionadas pela Pronamazon, em Marajó, conforme as solicitações do projeto. Fibras de comprimento reduzido, um resíduo gerado pela fábrica na produção de estofados, foram incorporadas à composição das mantas na razão de 20% sobre massa. Foi especificado que cada manta levaria 120 gramas de fibra, sendo 100 gramas de fibras longas e 20 gramas de fibras curtas. O aglomerante utilizado na formação das mantas foi cola branca (PVA), aplicada por spray sobre as fibras na razão de 4 partes de água para cada parte de cola.

As fibras são inicialmente distribuídas, de forma manual, sobre uma moldura com anteparo perfurado. Então, é aplicada sobre as fibras a cola PVA previamente diluída. Em seguida, a moldura é levada à estufa por 5 minutos para cura do adesivo e repete-se a aplicação de cola na outra face da manta, que volta à estufa novamente para secagem por 5 minutos.

Numa escala de produção industrial, seria inviável o emprego de mantas de grandes dimensões produzidas manualmente. As máquinas “formadoras de mantas” realizam essa operação em processo contínuo e proporcionam mantas mais homogêneas.

Para cada lote de mantas utilizado na confecção de chapas foi aferido, por meio de amostra, o teor de umidade do material. Esses valores oscilaram entre 10 e 11% nas mantas testadas.

4.3.1.4. Fabricação das chapas aglomeradas ▼

Em razão da quantidade limitada de fibra de coco em mantas disponível, foram produzidas apenas 15 chapas de 80x60 cm, das quais 8 foram encaminhadas para extração dos corpos de prova. A maior parte das chapas descartadas tratava-se de experimentos de variação de densidade. Em painéis de baixa densidade (aprox. 250 kg/m³), constatou-se a ocorrência de boa sustentação estrutural, porém, à medida que se diminui a pressão de prensagem, aumenta a rusticidade da superfície das placas. Uma solução encontrada foi a prensagem prévia de capas finas em média pressão (12kg/cm²), e sua incorporação ao colchão de mantas prensado a baixa pressão (4kg/cm²). As placas prensadas com essa configuração tiveram resultados satisfatórios. Inicialmente, experimentou-se a impregnação de resina nas mantas por imersão, mas o processo falhou, pois as mantas absorveram quantidade excessiva de resina, impossibilitando sua manipulação.

Determinaram-se 2 tratamentos, com 1 replicação cada, sendo um de chapas de 3 camadas (miolo e capas), e outro de chapas prensadas em camada única.

Foto 22. Aplicação de cola e retirada da prensa

Foram mantidos constantes o tempo de prensagem (15 minutos), a temperatura de prensagem (150°C), e a porcentagem de sólidos resinosos (18%) sobre a massa de fibras. A densidade foi mantida em valores aproximados de 400 kg/m³ para as chapas em sanduíche (S-1 e S-2) e de 700 kg/m³ para as chapas em camada única (C-1 e C-2). A pressão variou da mesma forma, de 4.5 a 16kg/m², dependendo do tratamento. No processo produtivo adotado (Figura 7), as mantas foram retiradas do lote, pesadas, impregnadas de resina por meio de pistola, pesadas novamente, montadas e prensadas. Após período de 24 horas, as chapas tiveram suas bordas aparadas.

FIGURA 7. Representação do processo de produção das chapas de fibra

4.3.1.5. Avaliação da qualidade das chapas aglomeradas

As chapas confeccionadas foram encaminhadas aos diversos laboratórios do IPT para a realização de ensaios mecânicos, físicos e de resistência a microorganismos e insetos. Os ensaios selecionados visam obter uma caracterização do material adequada às aplicações propostas. Os testes e determinações realizados foram os que seguem:

A. Ensaios Físicos e Mecânicos

- A.1. Determinação de umidade específica.
- A.2. Densidade.
- A.3. Inchamento de espessura.
- A.4. Flexão / Módulo de elasticidade.
- A.5. Dureza “Janka”.
- A.6. Arrancamento de Parafusos.
- A.7. Tração Normal (Internal Bond).
- A.8. Abrasão de superfície .
- A.9. Absorção de Água.
- A.10. Condutividade Térmica.
- A.11. Índice de Fumaça .
- A.12 Propagação Superficial de Chama .

B. Ensaios de Biodeterioração

- B.1. Resistência ao ataque de bolores .
- B.2. Resistência ao ataque de fungos apodrecedores .
- B.3. Resistência ao ataque de cupins-de-madeira-seca .

A. Ensaios físicos e mecânicos.

A.1. Material

Três tipos de material foram encaminhados ao LPFMM: chapas de fibra de coco e resina tanínica (camada única e 3 camadas), chapas de partículas de madeira (aglomerado) e chapa de laminado de madeira (compensado), conforme descrição a seguir:

Capa, contra-capas e 3ª lâmina - sumaúma (*Ceiba pentandra*, Bombacaceae); e 2ª e 4ª lâminas - muiratinga – (*Maquira sclerophylla*, Moraceae).

A.1.3. Chapa de partículas de madeira

Duas chapas de partículas de madeira, ou chapas de aglomerado, codificadas por A-1 e A-2, de espessura nominal 10 mm, fabricada com cola do tipo fenólica. As dimensões planas eram 50 cm x 80 cm.

Foto 24. Corpos de prova dos diferentes materiais em sala climatizada.

Foto do autor

A.2. Ensaio

Para uma avaliação comparativa dos três materiais foram realizados os seguintes ensaios e determinações:

- Flexão estática nas duas direções preferenciais nos estados seco ao ar e úmido;
- Densidade de massa aparente;
- Inchamento de espessura e absorção de água;
- Arrancamento de parafusos;
- Dureza “Janka”;
- Abrasão de superfície .

Além desses, para as chapas de fibra de coco e de madeira aglomerada foi realizado o ensaio de tração perpendicular (ou tração normal) ao plano da chapa; somente para a chapa de fibra de coco sanduíche de 20 mm de espessura foi realizado o ensaio de tração paralela ao plano da chapa; para as chapas de fibra de coco (sanduíche e única), madeira aglomerada e compensado foi executado o ensaio de abrasão de superfície, sendo que as chapas de fibra de coco foram lixadas antes do ensaio para regularização da superfície. Quanto aos ensaios de fogo e condutividade térmica, foram realizados somente com chapas de fibra de coco de camada única.

A.3. Método de ensaio

Os ensaios foram realizados conforme a Norma ASTM D 1037-91 – “Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials”, com exceção da densidade de massa aparente que seguiu a Norma Brasileira NBR-7190/97 Projetos de Estrutura de Madeira; e da abrasão de superfície que seguiu a Norma Nema LD3 – “High Pressure Decorative Laminates”.

A.3.1. Flexão estática

De cada chapa foram retirados 8 corpos-de-prova, sendo quatro em cada direção preferencial, largura e comprimento. Metade desses corpos-de-prova (dois em cada direção) foi ensaiada seca e metade foi ensaiada úmida, de acordo com os itens 11 a 20 da Norma. As dimensões dos corpos-de-prova eram de 7,5 cm x 29 cm x espessura. A velocidade do ensaio foi de 1 cm/min.

A.3.2. Densidade da massa aparente

Para a determinação da densidade de massa, foram utilizados os mesmos corpos-de-prova utilizados no ensaio de flexão. As medidas foram obtidas com paquímetro digital e a massa em balança semi-analítica, conforme a Norma NBR-7190/97.

A.3.3. Inchamento de espessura e absorção de água

De cada chapa S-1, S-2, U-1, U-2, A-1, A-2, C-1, C-2 foram retirados dois corpos-de-prova de 15 cm x 15 cm x espessura, sendo os corpos-de-prova de fibra de coco S-1-1, S-2-1, U-1-1, U-2-1 lixados e os S-1-2, S-2-2, U-1-2, U-2-2 natural (bruto), conforme itens 100 a 106 da Norma.

A.3.4. Arrancamento de parafuso

Após o ensaio de flexão estática (seco) quatro corpos-de-prova de 7,5 cm x 15,0 cm foram retirados para a realização do ensaio de arrancamento de parafuso, conforme os itens 61 a 67 da Norma. Os parafusos usados eram o de nº 10, com comprimento de 25 mm, diâmetro da haste de 4,5 mm e diâmetro do núcleo de 3,4 mm, foram inseridos perpendicularmente ao plano da chapa. A velocidade de arrancamento foi fixada em 2,5 mm/min.

A.3.5. Dureza “Janka”

Após o ensaio de flexão estática (seco) das chapas S-1, S-2, única, U-1, U-2, aglomerado e compensado, quatro corpos-de-prova de 7,5 cm x 15,0 cm foram retirados para a realização do teste de dureza “Janka”, conforme os itens 68 a 73 da Norma. A velocidade de arrancamento foi fixada em 6 mm/min.

A.3.6. Tração Normal à Superfície

Para as chapas de fibra de coco e de madeira aglomerada foi realizado o ensaio de tração normal à superfície. De cada chapa foram retirados cinco corpos-de-prova de 5,0 cm x 5,0 cm e preparados conforme os itens 28 a 33 da Norma. A velocidade do ensaio foi de 1 mm/min.

A.3.7. Tração Paralela à Superfície

Somente para a chapa de fibra de coco sanduíche de 20 mm de espessura foi realizado o ensaio de tração paralela à superfície. Da chapa enviada foram retirados cinco corpos-de-prova, no formato e dimensões conforme indicado nos itens 21 a 27 da Norma. A velocidade do ensaio foi de 4 mm/min.

A.3.8. Abrasão de Superfície

Para as chapas de fibra de coco S-1, S-2, U-1 e U-2, aglomerado A-1 e A-2 e compensado C-1 e C-2 foi realizado o ensaio de abrasão de superfície conforme a Norma Nema LD3, tendo sido retirados dois corpos-de-prova de 10,0 cm x 10,0 cm de cada chapa.

A.3.9. Propagação superficial de chama

Para esse ensaio adotou-se a norma NBR 9442/1986 – “Determinação do Índice de Propagação Superficial de Chama pelo Método do Painel Radiante” e o Procedimento de ensaio DEC-LSF-PE 006- “Determinação do índice de propagação de chama para materiais de construção”.

A.3.10. Índice de densidade ótica de fumaça

Foi utilizada a norma ASTM E 662-92 – “Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials “ e o procedimento de ensaio DEC-LSF-PE 002 – “Determinação da densidade ótica específica de fumaça.

A.3.11. Condutividade térmica

Dois corpos de prova medindo aproximadamente 305 mm x 305 mm x 29,4 mm foram confeccionados para esse ensaio que adota o procedimento DEC-LHI-PE-001 – “Determinação da condutividade , resistência e condutância térmica de materiais em forma de placas”, baseado na norma ASTM C 177/97 –

“Standard test method for steady state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded-hot-plate-apparatus”.

Os corpos de prova são colocados em equipamento de placas quentes protegidas com sistema de coleta de dados. Termopares instalados nas placas medem o fluxo de calor, enviando os dados ao processador. Este ensaio foi realizado no

Laboratório de Higrotermia e Iluminação na Divisão de Engenharia Civil do IPT.

A4. Resultados

Para efeito de análise, a grande quantidade de dados obtida nos ensaios está sendo condensada em tabelas resumidas. As tabelas 1 e 2, dos ensaios de flexão estática e determinação de massa específica aparente já apresentam os valores médios, mas para os demais ensaios, os cálculos ainda se encontram em elaboração.

Os resultados dos ensaios executados são apresentados nas Tabelas 1 a 11:

Tabela 1- Resultados do Ensaio de Flexão Estática.

Tabela 2 - Resultados do Ensaio de Densidade de Massa Aparente.

Tabela 3- Resultados do Ensaio de Inchamento de Espessura e Absorção de Água.

Tabela 4 - Resultados do Ensaio de Arrancamento de Parafusos.

Tabela 5 - Resultados do Ensaio de Dureza “Janka”.

Tabela 6 - Resultados do Ensaio de Tração Perpendicular à Superfície.

Tabela 7 - Resultados do Ensaio de Tração Paralela à Superfície.

Tabela 8 - Resultados do Ensaio de Abrasão na Superfície.

Tabela 9 - Resultados do Ensaio de Propagação Superficial de Chama.

Tabela 10 - Resultados do Ensaio de Densidade Ótica de Fumaça.

Tabela 11 - Resultados do Ensaio de Condutividade Térmica.

TABELA 1
RESULTADOS DO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA
Valores Médios

Corpo de Prova	Tensões		Módulo de Elasticidade MPa	Umidade (%)
	Proporcionalidade MPa	Ruptura MPa		
Condição seca ao ar				
C-1	17,78	34,56	4652	12,7
C-2	16,00	33,86	4336	12,9
A-1	8,75	21,57	2804	12,9
A-2	8,71	22,66	2865	13,0
U-1	8,80	35,59	1716	9,4
U-2	8,92	33,53	1569	9,4
S-1	6,00	19,48	983	9,8
S-2	10,25	23,64	1611	9,7
Condição úmida				
C-1	7,21	20,31	2873	68,9
C-2	7,39	20,75	3035	68,3
A-1	4,70	14,31	1551	44,4
A-2	4,62	12,63	1423	46,9
U-1	2,52	7,62	249	79,7
U-2	2,34	7,22	229	82,0
S-1	0,82	2,86	120	150,3
S-2	1,29	4,29	237	133,2

Legenda: “C” Madeira Compensada;
“A” Aglomerado de madeira;
“U” e “S” Chapa de Fibra de Coco.

TABELA 2

**RESULTADO DO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO
DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE**

Corpo de Prova	Massa Inicial (g)	Dimensões (mm)			Densidade kg/m³
		Comprimento	Largura	Espessura	
Valores Médios					
S-1	115,01	298	74,7	9,7	530
S-2	112,63	298	75,7	8,7	574
U-1	161,98	298	75,5	9,6	748
U-2	165,08	297	74,9	10,2	726
A-1	168,56	298	75,5	9,6	759
A-2	161,08	298	75,8	9,7	738
C-1	108,31	298	74,3	9,9	497
C-2	107,70	298	75,0	9,7	498

Legenda: "C"- Madeira Compensada; "A" - Aglomerado de madeira; "U" e "S"- Chapa de Fibra de Coco.

TABELA 3. RESULTADO DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO DE ESPESSURA

Corpo de Prova	Absorção de água após			Inchamento de espessura após			
	2 horas (%)	24 horas (%)	Umidade (%)	2 horas (%)	Umidade (%)	24 horas (%)	umidade (%)
Material: Fibra de Coco							
S-1	94,7	115,1	11,9	25,6	118,1	34,0	140,9
S-2	72,7	95,1	11,75	17,35	93,0	22,1	118,1
U-1	39,3	58,7	10,7	13,4	54,2	25,0	75,8
U-2	40,5	64,2	10,8	15,3	55,7	25,9	82,0
Material: Madeira Aglomerada							
A-1	17,4	40,9	13,9	3,9	33,8	8,5	60,6
A-2	18,0	41,3	14,0	4,1	34,5	8,4	61,2
Material: Madeira Compensada							
C-1	23,2	48,8	13,4	1,6	39,7	2,9	68,7
C-2	21,4	45,7	13,3	1,6	37,5	2,9	65,0

Tabela 4

RESULTADO DO ENSAIO DE
ARRANCAMENTO DE PARAFUSO

Corpo de Prova	Força (N)		Corpo de Prova	Força (kgf)	
	Face	Lateral		Face	Lateral
S-1	1.412	461	S-1	144	47
S-2	4.401	797	S-2	449	81
U-1	2.309	1.770	U-1	235	180
U-2	2.280	1.875	U-2	233	191
A-1	1.132	981	A-1	115	100
A-2	1.206	976	A-2	123	99
C-1	1.147	907	C-1	117	92
C-2	1.417	985	C-2	144	100

Legenda: "C" - Madeira Compensada; "A" - Aglomerado de madeira; "U" e "S" - Chapa de Fibra de Coco.

TABELA 5

RESULTADOS DO ENSAIO
DE DUREZA "JANKA"

Corpo de Prova	Dureza	
	Face	
	(N)	(kgf)
S-1	3.420	349
S-2	4.045	413
U-1	7.122	726
U-2	5.632	574
A-1	4.658	475
A-2	4.609	470
C-1	2.880	294
C-2	3.211	327

TABELA 6

**RESULTADOS DO
ENSAIO DE TRAÇÃO NORMAL**

Corpo de Prova	Resistência	
	kgf/cm ²	MPa
S-1	6,8	0,7
S-2	4,1	0,4
U-1	17,8	1,7
U-2	17,1	1,7
A-1	5,9	0,6
A-2	6,3	0,6

Legenda: "A" - Aglomerado de madeira; "U" e "S"- Chapa de Fibra de Coco.

TABELA 7

RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO PARALELA
Material: Fibra de Coco

Corpo de Prova	Tensões (MPa)		Módulo de Elasticidade (MPa)	Umidade (%)
	Proporcionalidade (MPa)	Ruptura (MPa)		
Condição Seca ao ar				
1	8,75	16,95	1250	10,0
2	7,87	17,25	1158	9,80
3	7,01	16,22	1274	10,3
4	6,07	14,81	1157	10,3
Condição Úmida				
1	1,75	6,06	398	68,0
2	1,58	6,32	416	64,9
3	1,63	6,17	430	65,8
4	2,13	6,04	291	68,8

TABELA 8

RESULTADOS DO ENSAIO DE ABRASÃO DE SUPERFÍCIE								
Número de ciclos	Desgaste (mg) Tipo de material							
	S-1	S-2	U-1	U-2	A-1	A-2	C-1	C-2
1000	424,5	265,6	344,4	238,4	421,3	464,6	864,5	1127,5
Número de ciclos	Desgaste (mg/100ciclos) Tipo de material							
	S-1	S-2	U-1	U-2	A-1	A-2	C-1	C-2
900-1000	36	26,1	33,1	22,7	36,4	41,6	91,6	137,9

TABELA 9

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PROPAGAÇÃO DE CHAMA*			
DETERMINAÇÕES	VALORES		
	Médio	Mínimo	Máximo
Índice de propagação de chama (Ip)	147	63	217
Fator de evolução de calor (Q)	30,4	22,1	37,5
Fator de propagação de chama (Pc)	5,1	1,7	6,5

CLASSIFICAÇÃO	Classe C
---------------	----------

*Observações de ensaio:

- Ocorreu desenvolvimento de fumaça cinza;
- A propagação superficial de chama avançou por todo o comprimento do corpo-de-prova
- A carbonização superficial alcançou, em média, 378 mm

TABELA 9a

Limites especificados em norma	
CLASSE	ÍNDICE DE PROPAGAÇÃO DE CHAMAS (Ip) MÉDIO
A	0 a 25
B	26 a 75
C	76 a 150
D	151 a 400
E	Superior a 400

Tabela 10. Resultado geral do ensaio de determinação de densidade ótica de fumaça

Tipo de Ensaio	sem chama	com chama
Número de corpos-de-prova ensaiados	3	3
Densidade ótica específica máxima (Dm)	245	32
Tempo, em minutos, para atingir Dm	15,3	13,4
Densidade ótica específica aos 90 s	1	1
Densidade ótica específica aos 4 min	25	4
Densidade ótica específica aos 20 min	-	-
Densidade ótica específica máxima corrigida (Dm corr.)	244	31
Tempo, em minutos, para atingir Ds = 16	3,5	10,0
Razão máxima de desenvolvimento de fumaça (Ds/min)	30	12
Cor da fumaça	cinza	cinza

Tabela 11. Determinação de condutividade térmica

Temperaturas (°C)			Fluxo de calor (W / m²)	Condutividade térmica (W / (m.K))
Face quente	Face fria	Médio		
33,0	12,6	22,8	56,3	0,081

B. Ensaios de Biodeterioração

B.1. Resistência ao ataque de bolores

Realizado no LAMIC – Laboratório de Micologia da Divisão de Produtos Florestais do IPT, este teste visa avaliar a resistência das chapas de fibra de coco e resina tanínica ao ataque de fungos emboloradores.

Foram retirados corpos-de-prova de uma chapa com formulação tipo U-1 (amostra A) nas dimensões 75 x 100 mm, expostos aos bolores de acordo com o Procedimento de Ensaio DPF-LAMIC-PE-010, adaptado na norma ASTM D3273-94 “Standard Test Method for Resistance to Growth of Mould on the Surface of Interior Coatings in an Environmental Chamber.

Painéis de madeira de *Pinus* sp., com dimensão de 50 x 75 x 10 mm, foram incluídos no ensaio como corpos-de-prova testemunha.

Os corpos-de-prova foram inoculados com uma suspensão mista contendo $10.000.000 \pm 200.000$ esporos, por ml de solução, de fungos do tipo *Aspergillus niger*, *Aureobasidium pullulans* e *Penicillium* sp.

Após inoculação, os corpos-de-prova foram incubados em câmara úmida durante 4 semanas. Nos 7°, 14°, 21°, e 28° dias, ambas as faces dos corpos-de-prova foram avaliadas visualmente. A área afetada pelo crescimento dos fungos foi estimada, atribuindo-se a ela as seguintes notas:

- 0 – ausência de crescimento
- 1 – traços de crescimento
- 2 – 1 a 10% de crescimento sobre área total do corpo-de-prova
- 3 – de 10 até 30% de crescimento
- 4 – de 30 até 70% de crescimento
- 5 – mais do que 70% de crescimento

Os dados coletados geraram a tabela a seguir com os resultados:

Tabela 12. Resultados obtidos por meio de da avaliação visual de ambas as faces com 7, 14, 21 e 28 dias de incubação.

AMOSTRA	TEMPO DE INCUBAÇÃO (dias)							
	7 dias		14 dias		21 dias		28 dias	
	face 1	face 2	face 1	face 2	face 1	face 2	face 1	face 2
Chapas de fibra de coco e cola de tanino	0	0	2	2	3	3	3	4
	0	0	2	2	3	3	5	3
	0	0	2	2	3	3	4	4
	0	0	2	2	3	3	4	4
	0	0	2	2	3	3	3	3
Testemunha	5	5	5	5	5	5	5	5
	5	5	5	5	5	5	5	5
	5	0	5	0	5	0	5	0

B. 2. Resistência ao ataque de fungos apodrecedores

O ensaio foi conduzido de acordo com o Procedimento de Ensaio DPF-LAMIC-PE-003, adaptado da publicação IPT No. 1157 – método D5 – “Resistência Natural de Madeiras ou Resistência de Madeiras Tratadas a Fungos Apodrecedores (podridão mole)”.

Entretanto, esse método não se mostrou adequado ao material de fibra de coco e resina tanínica (amostra A). O método prevê o soterramento dos corpos-de-prova em solo microbiologicamente ativo por um período de 16 semanas ao final do qual determina-se a perda de massa ocorrida no material. Nesse período, os corpos-de-prova sofreram inchamento e conseqüente acréscimo de porosidade, o que levou ao acúmulo de terra no material, dificultando a obtenção de dados de perda de massa confiáveis. Em alternativa, adotou-se o seguinte procedimento:

Foram retirados 5 corpos-de-prova da amostra A , dimensões de (30 x 15) mm x espessura, que , após condicionamento em estufa até massa constante e pesagem, foram depositados em placas de vidro contendo

meio de cultura composto por solução salina e ágar e inoculados com uma suspensão mista, contendo $10^6 \pm 200.000$ esporos do fungo *Chaetomium globosum*, causador de podridão mole.

Como referência ou controle, foi utilizada a madeira de *Eucalyptus grandis*, puro cerne (amostra E), nas dimensões de (30 x 15 x 5) mm, submetida às mesmas condições de ensaio descritas para a amostra A.

A seguir, foram mantidos em câmara climatizada a uma temperatura de 27 ± 1 °C e umidade relativa de $70 \% \pm 5 \%$ durante 24 semanas. Ao final desse período, os corpos-de-prova foram removidos das placas, limpos, novamente condicionados em estufa e pesados. A avaliação foi realizada determinando-se a perda percentual de massa, em relação à massa inicial, causada pela atividade do fungo. Os resultados são apresentados a seguir na Tabela 13.

Tabela 13. Perda de massa após 24 semanas de exposição ao fungo.

Amostra A	perda de massa (%)
1	5,31
2	6,60
3	6,32
4	5,38
5	13,11

média	7,34
desvio padrão	3,28

Amostra E	perda de massa (%)
1	25,23
2	26,13
3	33,33
4	28,95
5	30,43

média	28,81
desvio padrão	10,71

B.3. Resistência ao ataque de cupins

Realizado no Laboratório de Entomologia do Agupamento de Preservação de Madeiras da DPF – IPT, esse ensaio adotou o método IPT No. 1157 – Parte D/D2 (1980) e consiste em avaliar a resistência do material ao ataque de cupins-de-madeira-seca.

Os corpos de prova, de 70 mm de comprimento e 23 mm de largura, foram montados aos pares, ao longo de sua maior aresta, e sobre eles foram fixadas, com parafina, mangas de vidro abertas nas extremidades, medindo 4,0 cm de altura e 3,5 cm de diâmetro interno. Em cada cilindro foram colocados 40 cupins da espécie *Cryptotermes brevis*, na razão de 39 operários e 1 soldado. Para cada ensaio foram montadas 6 repetições desses conjuntos.

Os conjuntos assim montados foram mantidos em câmara climática a, aproximadamente, 27 ° C e umidade relativa de 70 %, durante 45 dias.

Para efeito de comparação, foram testados corpos-de-prova testemunha extraídos de madeira de *Pinus elliottii*, susceptível ao ataque por cupins e testados sob condições idênticas.

Ao término do ensaio, foram registrados a porcentagem de cupins mortos, sua duração (100 % de mortalidade pode ocorrer antes dos 45 dias) , sendo atribuídas notas para o desgaste produzido pelos cupins. As notas variam de 0 (zero) a 4 (quatro), com a seguinte correspondência:

- 0 – nenhum desgaste
- 1 – desgaste superficial
- 2 – desgaste moderado
- 3 – desgaste acentuado
- 4 – desgaste profundo – correspondente ao produzido na série Testemunha.

As tabela 15 e 16 mostram os resultados obtidos com a amostra e com a série Testemunha, respectivamente.

Tabela 15. Resultados da amostra

AMOSTRA	Corpo de Prova	% de Cupins Mortos	Desgaste	Dias
Chapa de Fibra de Coco e Resina Tanínica	01	77,5	0	45
	02	67,5	0	45
	03	60,0	0	45
	04	57,5	0	45
	05	72,5	0	45
	06	62,5	0	45

Tabela 16. Resultados da série testemunha

TESTEMUNHA	Corpo de Prova	% de Cupins Mortos	Desgaste	Dias
<i>Pinus elliottii</i>	01	30,0	4	45
	02	42,5	4	45
	03	17,5	4	45
	04	25,0	4	45
	05	37,7	4	45
	06	22,5	4	45

4.3.2. Discussão

De forma geral, as chapas de fibra de coco em camada única obtiveram os melhores resultados nos testes comparativos em condição seca, mas na presença de umidade há uma grande variação negativa de desempenho. No ensaio de flexão estática, as chapas de fibra de coco em camada única obtiveram os maiores valores médios para o módulo de ruptura em condição seca com 34,56 MPa, enquanto que o aglomerado e o compensado de madeira apresentaram 22,11 e 34,21 MPa respectivamente. Os resultados para condição úmida demonstraram uma substancial perda de resistência mecânica em função da desagregação estrutural dos painéis de fibra causada pela penetração de umidade. O ensaio de absorção de água e inchamento de

espessura confirmou a alta porosidade do material, com índices de absorção de água após 24 horas de imersão de até 115% nas chapas sanduíche, quando a média dos painéis de madeira foi de 44%. A média para os painéis de fibra de coco em chapa única ficou em 64%, desempenho superior ao das placas sanduíche, mas ainda bastante elevado para uso exterior. Os corpos de prova de fibra que foram previamente lixados apresentaram absorção de água em média 2% superior aos não-lixados.

Os painéis de fibra em chapa única apresentaram densidades próximas do aglomerado. As chapas em sanduíche, por sua vez, obtiveram valores mais próximos daqueles do compensado de madeira. Tal relação também foi observada nos resultados gerais dos ensaios mecânicos.

Os resultados do ensaio de arrancamento de parafuso também demonstraram propriedades mecânicas favoráveis no material em estudo. As chapas de fibra em camada única (U) obtiveram os maiores valores de resistência, com média de 2.294 N para aplicação de força na face. As chapas sanduíche (S) obtiveram valor médio superior (2.906 N), mas isso se deu em decorrência de um corpo de prova que apresentou 12.950 N de resistência e elevou os valores médios de toda a amostra. Retirado esse resultado excepcional do cálculo, a média das chapas “S” cai para 1.472 N. As chapas de aglomerado e compensado de madeira apresentaram valores médios de 1.169 N e 1.282 N respectivamente.

O ensaio que determina a dureza dos materiais novamente apresentou os maiores valores médios para as chapas de fibra de coco camada única (6.377 N) e, em ordem decrescente, o aglomerado (4.633N), as chapas sanduíche (3.732) e o compensado de madeira (3.045 N). Dados desse ensaio podem indicar a vocação do material para aplicação como piso.

Outra propriedade mecânica favorável das chapas de fibra de coco foi demonstrada no ensaio de tração normal, em que as chapas camada única (U) apresentaram valores muito superiores aos demais materiais testados. Com resistência média de 1,7 MPa, as chapas U obtiveram os melhores resultados, seguidas do aglomerado (0,6 MPa) e das chapas sanduíche (0,5 MPa). Esse ensaio está diretamente relacionado à colagem interna do material, o que indica bom desempenho do adesivo de tanino e dos procedimentos adotados na produção das chapas.

Foi possível confrontar os valores para Módulo de Elasticidade obtidos a partir do ensaio de tração paralela com aqueles obtidos no ensaio de flexão estática, sendo a média do primeiro (1.199 MPa) ligeiramente inferior aos valores médios obtidos no ensaio de flexão (1.297 MPa), em ambos os casos chapas do tipo sanduíche.

Entre os materiais testados no ensaio de abrasão de superfície, as chapas de fibra camada única (U) demonstraram o menor desgaste (27.9 mg/100 ciclos). O valor médio para as chapas tipo sanduíche foi 31,0 mg/100 ciclos, seguido dos obtidos com o aglomerado de madeira (39,0 mg/100 ciclos) e o compensado (114.7 mg/100 ciclos) com desgaste bastante superior aos demais.

O índice de propagação de chama obtido para as chapas de fibra de coco determina uma classificação para o material (Classe C) que é a mesma onde se inclui a maior parte das madeiras. As chapas testadas foram do tipo sanduíche, com maior porosidade. Se testadas, as chapas de camada única, mais adensadas, teriam condições de apresentar uma propagação mais lenta do fogo sem a adição de retardantes. Os resultados do ensaio de determinação de densidade ótica de fumaça também foram muito semelhantes aos que se obtém a partir de alguns tipos de madeira.

O valor obtido para a condutividade térmica das placas de fibra de coco (0,081 W/ (m.K)) foi considerado bastante favorável pelos técnicos do IPT . Para efeito de comparação, a especificação norte-americana ASTM C208-9 determina o valor máximo de 0,058 W/ (m.K) para placas isolantes de fibra celulósica (Youngquist et al., 1997), um valor pouco menor que o obtido com as chapas de fibra de coco e que pode ser alcançado adotando-se medidas como a incorporação de outros materiais ou alterações na configuração estrutural do painel. O ensaio de resistência ao ataque de bolores indicou a proliferação de microorganismos na superfície dos corpos de prova em razão da alta absorção de água das chapas de fibra.

Em outro ensaio de biodeterioração, foi observada uma alta resistência ao ataque de cupins nas chapas de fibra testadas, em parte pela ação do tanino utilizado no adesivo, e presente na composição das fibras na proporção de até 10%. O ensaio de resistência ao ataque de cupins teve de ser complementado com outro procedimento em que se ensaiam as fibras separadamente, sem aditivos. Os resultados mostraram um desgaste superficial nas fibras isoladas,

indicando que o tanino pode ter alguma influência na ausência de desgaste observada no ensaio das chapas.

4.3.3. Conclusões sobre a segunda bateria de ensaios

Em comparação com os resultados obtidos nos ensaios da fase exploratória, pode-se observar uma melhora sensível nas propriedades mecânicas do material em estudo, em grande parte por conta da reformulação do processo experimental de produção e dos procedimentos de colagem.

Chapas de fibra de coco em camada única obtiveram desempenho superior aos demais materiais testados em quase a totalidade dos ensaios em condição seca. O material apresentou grande perda de resistência mecânica quando exposto à umidade. A alta absorção de água das chapas é um fator que pode ser reduzido tratando-se as fibras antes da prensagem ou aplicando recobrimento impermeável sobre a peça pronta. As formas de pré-tratamento da fibra encontradas na literatura indicam procedimentos como tratamento alcalino (Geethamma et al., 1998) e recobrimento com látex (Sreekala et al., 2000), que além de reduzir a absorção de água, melhoram o desempenho mecânico dos compósitos. São tratamentos que requerem domínio de procedimentos químicos complexos, além dos recursos disponíveis dentro do escopo da pesquisa. Portanto, para a confecção do protótipo de telha, manter o processo adotado e aplicar impermeabilizante sobre as peças prontas mostrou-se a melhor alternativa para reduzir a absorção de água do material.

Os ensaios de resposta ao fogo apresentaram resultados dentro do esperado para painéis de fibra vegetal aglomerados com resina fenólica. Tanto a velocidade de propagação de chama como os índices óticos de fumaça obtidos com as chapas de fibra situam-se na mesma faixa em que se inclui a maior parte das madeiras.

O material apresentou excelente resistência ao ataque de cupins e degradação lenta quando enterrado, mas o resultado obtido com o ensaio de propagação de fungos foi prejudicado pela alta absorção de umidade das amostras.

Os painéis em camada única obtiveram melhor desempenho mecânico do que os painéis sanduíche em todos os ensaios, e demonstraram ser a melhor configuração para as aplicações adotadas nesse estudo.

4.4. FASE IV: EXECUÇÃO DE PROTÓTIPO DE TELHA DE COBERTURA.

A proposta de aplicação do material no desenvolvimento de uma telha de cobertura teve por objetivo verificar a possibilidade de se utilizar o compósito de fibra de coco e resina em componentes de uso exterior. A propriedade de realizar colagens resistentes à umidade do adesivo Phenotan seria colocada à prova. Em ensaios de laboratório com chapas aglomeradas de madeira, segundo o fabricante, o adesivo manteve as propriedades quando submetido à imersão em água fervente por 1 hora.

A alta absorção de água apresentada pelos painéis de fibra de coco, porém, exigiu a aplicação de impermeabilizante sobre as telhas prontas como medida de precaução. O emprego de produtos de origem renovável, prioritária na pesquisa, levou à escolha de um impermeabilizante comercial à base de óleo de mamona.

4.4.1. Projeto de telha de cobertura

Decidiu-se por fabricar, em fibra de coco e resina, uma telha ondulada comercial similar às oferecidas no mercado. O desenvolvimento de um novo desenho dificultaria a avaliação do protótipo, uma vez que comparações de desempenho com telhas existentes seriam difíceis. Além disso, a telha ondulada serve muito bem à verificação das propriedades plásticas do material. O desenvolvimento de um novo desenho de telha e de modulação estrutural de telhado própria demandaria muito tempo e recursos, não se incluindo no escopo da pesquisa. As dimensões da prensa limitaram o tamanho da telha, sendo que a única disponível nessas condições foi a telha Ondina Plus, da Brasilit, (Figura 8) com dimensões 610 x 506 x 5 mm, disponível em fibrocimento.

FIGURA 8. Dimensões da telha Ondina Plus, da Brasilit

Fonte: Brasilit

4.4.2. Material e Métodos

Execução dos moldes

Estabelecidas a forma e as dimensões da telha, passou-se à execução dos moldes de alumínio fundido, iniciada pelo modelo padrão em resina plástica. Em razão da eliminação da etapa de secagem das fibras no processo produtivo, há uma geração maior de vapores durante a prensagem, que acontece em temperaturas de até 180° C.

Para contornar o maior risco de incidência de delaminação nas placas, incorporou-se ao molde (e ao modelo padrão) um sistema de eliminação de gases (Foto 25). O sistema visa escoar os vapores gerados pela prensagem das mantas úmidas sob calor intenso, eliminando a ocorrência de bolhas nas peças. O sistema desenvolvido conta com canais de exaustão e vários pontos de saída dos gases na parte superior do molde (Figura 9). Pela reduzida espessura dos canais (5mm), eles não são obstruídos pelas fibras na prensagem, permanecendo livres para passagem do vapor.

FIGURA 9. Sistema de eliminação de vapores no molde

Na prensagem de placas planas, estas sempre necessitam ter as bordas aparadas em serra de fita para eliminação das sobras. No projeto do molde, procurou-se eliminar do processo produtivo também essa etapa, incorporando-se um sistema de corte que, no fechar da prensa, vinca todo o contorno na peça, que é destacada facilmente do conjunto posteriormente à prensagem (Foto 27).

Foto 25. Incorporação de canais no modelo padrão

Fotos do autor

Produção das telhas ▼

Após a conclusão do molde e sua fixação na prensa por meio de garras de aço, foi iniciada a produção das telhas. Adotou-se para as telhas a formulação U-1 (camada única), que obteve melhores resultados gerais nos ensaios com as chapas.

Para evitar a adesão do material no molde, usou-se um desmoldante sintético comercial (CHL-28, fornecido pela Chemlease international Inc.) a base de água e resistente a temperaturas de

até 240 °C. Desmoldantes alternativos a base de óleos vegetais ou cera de abelha também podem ser usados.

Foto 26 . Telhas de fibra vegetal e cola de tanino em diversas configurações.

Foto do autor

Foram produzidas 20 telhas com 10 mm de espessura utilizando o mesmo processo adotado na confecção das chapas planas, porém com alguns cuidados adicionais: o empilhamento das mantas, por exemplo, é muito mais crítico na produção de peças moldadas, pois a falta de material em uma região da telha implica no descarte de toda a peça. As bordas com frequência apresentaram problemas de compactação por falta de material, mas o problema foi solucionado com a distribuição mais homogênea das mantas quando empilhadas para formar o colchão que alimenta a prensa.

O sistema de eliminação de gases funcionou perfeitamente, e não houve ocorrência de entupimento dos canais no molde ou de delaminação nas peças. O sistema de corte também foi eficaz, exceto nos casos em que havia falta de material nas bordas.

Durante a prensagem das telhas, experimentou-se a incorporação de outras fibras no compósito (curauá) ou de lâmina de papel como acabamento superficial. O objetivo é reduzir a porosidade do material, proporcionando um uso mais econômico de produto impermeabilizante.

Foto 27. Telha produzida mostrando o funcionamento do sistema de corte.

Foto do autor

4.4.3. Incorporação de impermeabilizante de origem vegetal

Com o auxílio do Prof. Dr. Osny Pellegrino Ferreira, do Laboratório de Construção Civil, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos –USP, foi aplicado nas telhas impermeabilizante vegetal obtido a partir do óleo de mamona (*Ricinus communis*) e produzido comercialmente pela Construquil Polímeros Ltda., localizada em Araraquara, no estado de São Paulo. O produto é geralmente aplicado como impermeabilizante em lajes e no interior de caixas-d'água com ótima eficácia, segundo o fabricante. A partir do óleo de mamona também se produz uma variedade de colas, tintas, pisos e vernizes, além de próteses médicas e polímeros em diversas densidades.

Foto 28. Aparência das telhas de fibra recobertas com impermeabilizante vegetal.

Fotos do Autor

O impermeabilizante foi aplicado sobre as telhas em ambas as faces com pincel e de forma pouco uniforme, apresentando falhas no recobrimento de parte das peças. Porções expostas das telhas ocasionaram posteriormente a penetração de umidade no material durante os testes em câmara úmida. No entanto, as partes que apresentaram recobrimento total proporcionaram uma ótima impermeabilização, verificada em ensaio. Foram utilizados dois tipos de impermeabilizante de mamona: um incolor e outro incorporando dióxido de titânio, um pigmento de cor branca para que as telhas possam refletir melhor a luz do sol.

4.4.4. Avaliação da qualidade das telhas

Três testes normalizados foram realizados para verificar a eficácia do impermeabilizante vegetal:

1.) Exposição à câmara úmida

Realizado pelo pesquisador Arménio Gomes Pinto, do LPB - Laboratório de Plásticos e Borrachas da Divisão de Química do IPT, segue os procedimentos da norma norte-americana ASTM D 790, destinada à avaliação de chapas plásticas. Consiste na determinação da

resistência a flexão e à tração dos corpos de prova antes e depois da permanência do material em uma câmara úmida (100% de umidade relativa) por um período de 7 dias. A velocidade de separação das garras nos ensaios foi fixada em 5 mm/ min.

Foto 29. Câmara úmida e corpos de prova ensaiados no LPB.

Fotos do autor

2.) Verificação de impermeabilidade

Teste realizado no Laboratório de Componentes para Construção da Divisão de Engenharia Civil do IPT. Adaptação da norma brasileira NBR 5642 para telhas de fibrocimento, consiste na fixação com silicone, em diversas partes da telha, de tubos de vidro de seção circular com diâmetro interior de 35mm e altura suficiente para formar uma coluna d'água de 250mm. O tubo é preenchido com água e, após um período de 24 horas, faz-se a verificação visual da ocorrência de manchas de umidade e formação de gotas. No ensaio adaptado às telhas de fibra de coco, o período de repouso foi estendido para 48 horas.

Foto 30. Ensaio de verificação de impermeabilidade

Foto do autor

3.) Intemperismo acelerado

Realizado no Laboratório de Construção Civil do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos, sob a coordenação do Prof. Dr. Osny Pellegrino Ferreira, esse teste consiste em submeter as amostras a ciclos de radiação ultravioleta, umidade e calor, simulando a degradação que ocorreria naturalmente com o material exposto às intempéries. Não existe, porém, correspondência direta entre a duração do teste e um período equivalente de real exposição ao tempo.

Foto 31. Amostras no dispositivo para ensaio de intemperismo acelerado

Foto do autor

O teste, também chamado “Accelerated Weathering by QUV”, foi realizado em equipamento construído de acordo com as especificações da norma ASTM G154, que trata dos procedimentos de exposição de materiais não metálicos em câmaras com lâmpadas UV fluorescentes. Foram utilizadas lâmpadas UV Philips TL 40W.

As amostras foram cortadas nas dimensões de 75 x 300 mm e submetidas a duas mil horas de exposição. Uma série testemunha não exposta de cada um dos tratamentos foi mantida para fins de avaliação comparativa.

Transcorrido o tempo de exposição, novos corpos de prova foram extraídos do material exposto e da série testemunha para o ensaio de flexão estática (norma ASTM D-790), que determina e quantifica possíveis perdas nas propriedades do material.

4.4.5. Resultados e discussão

No ensaio de verificação de impermeabilidade, não foi constatada a presença de sinais de infiltração, mesmo se estendendo o período de exposição à pressão da coluna d’água para 72 horas. Os tubos de vidro foram fixados na região da canaleta da telha, onde havia recobrimento homogêneo de impermeabilizante.

A Tabela 17 apresenta os resultados dos ensaios de exposição à câmara úmida:

Tabela 17. Determinação de resistência à flexão antes (A) e depois (Y’) de condicionamento em câmara úmida por 7 dias.

Amostra A	Carga Máxima MPa	Tensão de Ruptura MPa		
1	18,60	44,66		
2	16,00	39,91		
3	12,60	37,22		
4	12,20	37,57		
5	10,10	30,21		
			média	37,91
			desvio padrão	5,23

Amostra Y	Carga Máxima MPa	Tensão de Ruptura MPa		
1	5,10	15,66		
2	3,60	8,95		
3	4,90	12,37		
4	4,20	10,13		
5	5,00	12,40		
			média	37,91
			desvio padrão	2,57

Tabela 18. Determinação de resistência à tração antes (B) e depois (W) de condicionamento em câmara úmida por 7 dias.

Amostra B	Alongamento %	Tensão de Ruptura MPa		
1	5	21		
2	9	24		
3	8	27		
4	7	25		
5	7	22		
			média	24
			desvio padrão	2,4

Amostra W	Alongamento %	Tensão de Ruptura MPa		
1	11	7,5		
2	11	8,4		
3	9	8,1		
4	9	7,9		
5	11	8,7		
			média	8,1
			desvio padrão	0,46

No caso do ensaio de condicionamento em câmara úmida, os corpos de prova foram recortados da região intermediária entre as duas canaletas da ondulação da telha, uma vez que, para o teste, era necessário que os corpos de prova não apresentassem qualquer curvatura. Por ser um plano inclinado essa área foi prejudicada na aplicação do impermeabilizante, apresentando muitas falhas de recobrimento, que proporcionaram a entrada de umidade no material por capilaridade, prejudicando sua resistência mecânica. Em ambas determinações foi observada uma perda de 70% em média para as propriedades avaliadas, um resultado considerado preocupante em se tratando de um componente para uso exterior.

O ensaio de intemperismo acelerado, por sua vez, apresentou resultados muito interessantes, já que a maior parte dos corpos de prova da série que foi exposta ao ambiente agressivo da câmara apresentaram maior resistência à flexão do que aqueles da série testemunha, como se observa no Gráfico 3.

Gráfico 3. Resultados do ensaio de Intemperismo Acelerado

À exceção dos corpos de prova da série Mamona, que foi adicionada ao teste para efeito de comparação e não faz parte do material extraído das telhas, o restante dos corpos de prova (Séries Tanino 1 e Tanino 2) apresentou valores de tensão de ruptura superiores à da série original não exposta. Segundo o pesquisador Salvador Claro Neto, do Laboratório de Química Analítica e Tecnologia de Polímeros do Instituto de Química da USP São

Carlos, isso talvez se deva ao fato de a exposição intensa à radiação UV ter completado a reação de polimerização do filme de impermeabilizante, aumentando a resistência mecânica do material como um todo.

Os valores médios para tensão de ruptura obtidos pelas séries respectivamente antes e depois da exposição foram os seguintes:

	Antes	Depois
Série Mamona	3,74	4,58
Série Tanino 1	10,00	13,80
Série Tanino 2	8,06	8,28

Mais uma vez foi demonstrada a eficácia do filme impermeabilizante de PU vegetal, que protegeu a superfície das telhas do ataque ultravioleta, além de ter prevenido com sucesso a infiltração de umidade no material.

5. TECNOLOGIA DE ECOMATERIAIS NA PRODUÇÃO SERIADA DE COMPONENTES : ESTUDOS DE CASO E PROPOSTA PARA IMPLANTAÇÃO DE AGRO-INDÚSTRIA

Buscando investigar as possibilidades concretas de aplicação efetiva da tecnologia de ecomateriais a base de fibra de coco e resinas de origem vegetal na produção de componentes, foram realizados estudos de caso que, de alguma forma, pudessem fornecer dados que indicassem sua viabilidade.

Duas localidades representativas no âmbito da pesquisa foram objeto de estudo: uma cooperativa na Ilha de Marajó que fornece fibras e componentes para produção de estofados automotivos à mais moderna indústria de processamento de fibra de coco do planeta, localizada em Ananindeua, na Grande Belém, Pará; Outra visita importante foi à região de Kerala, no Sul da Índia, um dos maiores produtores de fibra de coco do mundo e certamente o lugar com mais tradição em seu aproveitamento. Ainda na Índia, foi possível localizar uma fábrica em Bangalore que produz comercialmente chapas planas de fibra de coco aglomeradas com resina petroquímica.

Com base na experiência adquirida nas visitas técnicas, foi elaborado um diagrama de produção para uma agro-indústria de ecomateriais que faz uso de tecnologia industrial de ponta combinada a um sistema de cooperativa integrado atuando como interface entre a unidade de produção e as comunidades locais.

5.1. Estudo de caso: Pronamazon e Poematec, Pará, Brasil

Localizada no Município de Praia Grande, na Ilha de Marajó, e parte integrante do Programa Pobreza e Meio Ambiente na Amazônia -POEMA, a Pronamazon – Indústria de Aproveitamento de Produtos Naturais da Amazônia Ltda. produz encostos de cabeça para bancos de caminhão em sistema de cooperativa, com produção diária de 100 unidades. As peças são produzidas em crina vegetal (fibra de coco + látex) formando-se mantas manualmente com as fibras. As mantas são então pulverizadas com látex natural (Foto 32), cortadas, colocadas no molde e vulcanizadas. A peças (Foto 33) têm então as bordas lixadas e são embaladas. Toda a produção de encostos de Praia Grande é utilizada na fábrica de caminhões da Mercedes-Benz, em São Bernardo do Campo- SP.

Foto 32. Látex é aplicado sobre mantas de fibra de coco na Pronamazon- PA.

Foto do autor

O POEMA, vinculado à Universidade Federal do Pará -UFPA, atua junto a comunidades carentes do estado, introduzindo tecnologia nas áreas de silvicultura, saneamento, saúde e nutrição, promovendo o desenvolvimento econômico das comunidades através de auxílio sistemático na criação de processos sustentáveis de beneficiamento de produtos naturais regionais.

Em parceria com a Daimler-Chrysler, o POEMA tem desenvolvido pesquisas visando o emprego de produtos naturais em materiais usados em automóveis.

A equipe do LEPRON – Laboratório de Engenharia de Produtos Naturais, criado com esse intuito, pesquisou desde corantes de urucum para pinturas de automóveis até novas aplicações para as fibras disponíveis na região Amazônica.

Foto 34. Encostos de cabeça em crina vegetal fabricados pela Pronamazon -PA.

Foto do autor

Atualmente a Pronamazon complementa a produção de estofamentos da Poematec Ltda. (Foto 35), indústria que vem fabricando desde Dezembro de 2000, vasos e estofamentos para bancos automotivos e mobiliário, utilizando-se das mais recentes tecnologias de crina vegetal. A indústria, localizada no município de Ananindeua, Grande Belém, Pará, é considerada a mais moderna entre as similares existentes no mundo.

Foto 35. Interior da Poematec em Ananindeua, Pará

Foto do autor

O beneficiamento da fibra de coco, como foi observado na usina de Praia Grande, obedece, basicamente, às seguintes etapas:

Colheita e separação da castanha (Foto 36): Os cocos são recebidos e passam por um processo manual de separação da castanha (endocarpo + polpa), no qual o fruto inteiro é pressionado contra uma lâmina de formato oval cravada no chão, separando-se a castanha da parte fibrosa (mesocarpo). Os cocos devem estar secos para facilitar a rachadura e separação da casca. As castanhas são vendidas no mercado local, e as cascas vão para os tanques de maceração.

Maceração (Foto 37): A maceração é um processo de origem biológica, e consiste na deposição das cascas em tanques com água para que a própria fermentação espontânea da matéria vegetal auxilie a liberação dos feixes fibrosos. A maceração dura de quatro a doze semanas, dependendo de fatores químicos e físicos como pH e temperatura da água.

Desfibramento (Foto 38): Após o período de maceração, as cascas são introduzidas nas máquinas desfibradoras, forrageiras adaptadas, que acionadas por motor a gasolina e alimentadas por um fluxo de água constante, fazem girar um eixo de martelos que golpeia as cascas, separando as fibras do material não fibroso, ou pó de coco.

Secagem e cordoamento (Foto 39): as fibras são deixadas a secar em área coberta, e então acondicionadas num mecanismo de cordoamento manual. As cordas são enroladas em fardos de 2 a 3 quilos, que são colocados em autoclave para efeito de memorização das fibras. Os fardos são transportados até outra unidade da cooperativa, onde as cordas, depois de desfeitas, são pulverizadas com látex e moldadas, estado em que são utilizadas nessa unidade para o enchimento estofado dos encostos de banco para caminhões.

Foto 36. Extração da noz e separação do mesocarpo

Foto do autor

Foto 37. Tanques de maceração

Foto do autor

Foto 38. Máquina desfibadora

Foto do Autor

Foto 39. Rolo de fibras cordoadas manualmente

Foto do autor

O processo observado é bastante rudimentar, apesar das melhorias realizadas no maquinário e do alto grau de organização da usina. Recentes ampliações vêm sendo custeadas com recursos gerados pela própria cooperativa, representando, no âmbito da comunidade, um insipiente, mas efetivo desenvolvimento econômico.

5.2. Estudo de caso: Natura Fibretech, Bangalore, Índia

Durante visita técnica aos laboratórios de pesquisa de compósitos da Mahatma Gandhi University, em Kottayam, estabeleceu-se contato com centros de pesquisa e desenvolvimento da fibra de coco em diversas regiões da Índia. Por meio do Prof. Dr. Sabu Thomas, foi programada a visita à Natura Fibretech Pvt. Ltd., empresa em funcionamento há pouco mais de dois anos, com sede em Bangalore e que produz comercialmente chapas de fibra de coco aglomeradas com resina fenólica. A indústria vem fabricando chapas planas para aplicações diversas, desde mobiliário de escritório até construção de alojamentos temporários (Foto 40).

Foto 40. Alojamentos de estrutura metálica com vedação de painéis de fibra de coco e resina, em acampamento para vítimas do terremoto de Gujarat, Índia em 2001.

Fonte: Natura Fibretech

Chegando às instalações da fábrica, no estado de Tamil Nadu, foi possível documentar o processo de produção e verificar não só a viabilidade

técnica da fabricação de painéis de fibra de coco, mas também sua viabilidade econômica, desde que satisfeitas certas condições, como disponibilidade de matéria-prima e processo produtivo adequado. Quando da ocasião da visita, a Natura Fibretech acabara de ser cadastrada para o fornecimento de painéis para bancos e leitos dos vagões ferroviários da Indian Railways e apresentava sinais de aceitação pelo mercado de mobiliário doméstico.

O processo de produção de chapas adotado pela empresa (Foto 41) é muito similar àquele utilizado para a confecção de crina vegetal para estofamentos. Ambos têm em comum a utilização das fibras em mantas, a aplicação de ligante por spray e a cura por calor. As mantas, com densidade adequada à fabricação de chapas são obtidas por agulhamento (entrelaçamento) das fibras, impregnadas de resina por spray e condicionadas em prensas de pratos múltiplos aquecidos. As chapas, esfriadas sob pressão, têm as bordas pintadas com seladora e são empilhadas no depósito até a expedição.

Foto 41. Etapas do processo de produção de chapas de fibra de coco e resina em fábrica em Bangalore, Índia.

Legenda: I -Abertura dos fardos de fibra
II –Formação e corte das mantas
III – Prensagem
IV – Chapas tem as bordas pintadas e são estocadas

Fotos do autor

Mantidas as diferenças de escala, as etapas de produção documentadas são praticamente as mesmas adotadas no processo experimental desse estudo para a produção dos corpos de prova e protótipos no IPT. O aspecto mais surpreendente do desenvolvimento do grupo indiano talvez seja a forma em que foi resolvido o acabamento dos painéis: uma fina camada de juta sobre uma folha de papel impregnado de resina é aplicada nas faces dos painéis durante a montagem das mantas (Foto 42). O papel resinado reduz a porosidade da chapa enquanto que a juta proporciona uma superfície lisa e acetinada, com desenhos que lembram veios de madeira. A estratégia da empresa é justamente vender um produto com aparência de madeira, para competir com o aglomerado e o compensado.

Foto 42. Manta de juta é aplicada nas faces do painel antes da prensagem.

Foto do autor

Embora não estivesse operando em plena capacidade quando da realização da visita, a fábrica pode produzir em torno de 1.000 chapas de 2,4 x 1,2 metros ao dia, com consumo diário de 12 toneladas de fibra de coco. No mercado indiano, as chapas de fibra de coco são oferecidas a custo inferior ao dos similares de madeira. A chapa de 12mm de espessura custa 60% menos que o MDF e 10% menos que o compensado de madeira, o material mais barato dessa categoria.

5.3. Proposta para implantação de agro-indústria de ecomateriais

Com o intuito de contribuir para a criação de novas oportunidades de desenvolvimento para regiões produtoras de fibras vegetais, o quadro a seguir apresenta um diagrama de produção do que seria uma agroindústria de ecomateriais derivada do presente estudo.

O local ideal de implantação já apresentaria alguma produção de fibra de coco (muitas regiões do Norte e Nordeste) sem estar muito distante dos mercados consumidores ou de pontos principais de escoamento de produção. Em tese, no entanto, em uma terra qualquer com o mínimo de condições seria possível introduzir espécies produtoras de fibra vegetal, alimento e óleo de mamona, utilizando-se dos modernos sistemas de irrigação e de correção do solo existentes hoje. Obviamente, o custo de implantação nesse caso seria mais elevado, e o período até início da produção mais longo.

No diagrama, a porção superior da imagem representa as atividades agrícolas que compõe o processo de produção. O cultivo, coleta e beneficiamento primário das matérias-primas seria realizado em estrutura de cooperativa pelas comunidades locais, que forneceriam a fibra de coco beneficiada e o óleo de mamona para a unidade de produção propriamente dita.

A polpa dos frutos, bem como o excedente de produção de óleo poderiam ser comercializados no mercado local, exportados ou ainda transformados em produtos acabados pelas próprias cooperativas. O óleo de mamona, ou mesmo outros óleos vegetais que venham a ser produzidos pela comunidade, poderiam ser utilizados como combustível (biodiesel) nos caminhões de transporte e nas máquinas de beneficiamento primário.

Caberia à fábrica realizar o beneficiamento da fibra de coco em mantas homogêneas e do óleo vegetal em polioli, para então completar a transformação desses insumos em componentes moldados de baixo impacto ambiental com diversas aplicações na indústria de móveis, automóveis, construção civil e aviação, entre outras.

Sistemas de gerenciamento de resíduos, geração alternativa de energia e de tratamento de efluentes seriam incorporados à construção, composta de materiais de baixo impacto ambiental, além de serem oferecidos benefícios para acesso à educação e assistência médica nas comunidades envolvidas.

5.3.1. Diagrama geral de produção para agro-indústria de ecomateriais

Arte: André Schwartzman

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios, principalmente aqueles obtidos a partir da Fase III da pesquisa demonstram que o processo tecnológico evoluiu bastante, a ponto de produzir componentes com qualidade muito mais homogênea, se compararmos com o material que vinha sendo produzido nas etapas iniciais da pesquisa.

O compósito de fibra de coco e resina de tanino não só teve sucesso em reproduzir os resultados obtidos com urea-formaldeído -UF, mas conseguiu superá-los, muitas vezes de forma surpreendente, como nos ensaios de flexão estática, em que o compósito de fibra/resina apresentou, em condição seca, valores de resistência à tensão ligeiramente superiores aos do compensado de madeira (Gráfico 4).

Gráfico 4. Resultados comparativos para tensão de ruptura (MPa).

No decorrer da pesquisa, os ensaios de caracterização foram revelando um material com propriedades bastante favoráveis como sua excepcional elasticidade, certamente relacionada com o fato de a fibra de coco ser a mais elástica das fibras vegetais. Outras propriedades como sua grande plasticidade, que permite ao material ser moldado em curvaturas próximas a 90°, a resistência ao ataque de cupins, o bom desempenho como isolante térmico, a boa resistência à abrasão e uma excelente relação entre densidade e resistência também puderam ser observadas.

Tudo ia bem até a realização dos ensaios em condição úmida: o material, muito poroso, absorvia umidade em excesso, fazendo com que muitas vezes os corpos de prova sofressem delaminação, em especial nos ensaios de imersão em água.

Durante a confecção dos protótipos de telha, algumas alterações de processo foram realizadas para tentar minimizar a absorção de água do material, sem sucesso.

Não fosse a insistência deste pesquisador em procurar alternativas não-petroquímicas, o problema poderia ter sido superado com mais facilidade.

Felizmente, tomamos conhecimento de que havia no mercado um novo impermeabilizante a base de poliuretano (PU) de óleo de mamona, e decidimos por recobrir as telhas com o produto, numa tentativa de contornar o problema da absorção de água.

De fato, os ensaios de impermeabilidade comprovaram a eficácia do impermeabilizante, e finalmente pudemos obter uma telha estanque. Mas a alegria durou pouco, mais precisamente até a chegada dos resultados de exposição em câmara úmida, nos quais foi constatado que a menos que a telha estivesse totalmente recoberta, a umidade continuaria a penetrar pelos topos e pelas falhas no filme de recobrimento. Isso não constitui um problema tão grave, uma vez que é notória a durabilidade dos filmes de PU e, numa eventual produção industrial, haveria meios de assegurar que a qualidade no recobrimento fosse mantida.

Porém, persistiam dúvidas quanto à absorção de água ser inerente à fibra de coco, ou ainda quanto ao desempenho do adesivo de tanino estar sendo realmente adequado. Num esforço de sanar essas dúvidas, e já próximo à data da defesa, foi decidido que experimentaríamos uma nova formulação para o compósito, com o PU de mamona substituindo a resina de tanino como aglomerante e entrando na composição do material em proporção próxima a 25% (v/v) sobre as fibras. Foi aplicada pressão de cerca de 15 kgf/cm^2 , em temperatura ambiente.

Gráfico 5. Resistência à tração antes e depois de imersão em água a 70°C por 168 horas.

Os resultados do ensaio complementar de absorção de água com a nova formulação, realizado no Laboratório de Plásticos e Borrachas da Divisão de Química do IPT, são apresentados no Gráfico 5.

Os valores médios obtidos indicam que a alta absorção de água pode ser controlada sem a necessidade de recobrimento do material, e foram os seguintes, respectivamente antes e depois de imersão: 11,46 e 10,44 MPa, com a espessura variando de 4,8 para 4,9 mm. O resultado foi considerado bastante favorável, se tratando de um ensaio agressivo e tendo as perdas de resistência nas amostras ficado em menos de 10%. O inchamento de espessura também foi considerado mínimo.

Descartada a suspeita de falhas na colagem com resina de tanino, pudemos concluir que uma das causas da porosidade do material pode ter sido o excesso de umidade presente nas fibras durante a prensagem. Apesar de havermos projetado um sistema de exaustão de gases no molde justamente para possibilitar o uso de fibras úmidas, há suspeitas de que à temperatura de prensagem, que em geral excede os 170°C, gases e vapores que escapam do interior do material deixam como rastro uma rede de capilares que serve de ponto de entrada para a umidade, porém não tivemos meios de obter comprovação inequívoca de que isso realmente acontece.

7. CONCLUSÕES

A viabilidade técnica de produção de um compósito de fibra de coco e resina de origem vegetal foi demonstrada. Foi possível confeccionar um material plástico, forte, resistente a xilófagos, relativamente impermeável e de aparência agradável, com índice de aproveitamento de matéria prima vegetal da ordem de 95%. Esse material respondeu de forma satisfatória às solicitações impostas por uma extensa bateria de ensaios e à confecção de protótipos para as aplicações determinadas no projeto de pesquisa.

Ficou claro nos testes que, mantido o processo de produção atual, o emprego adequado do compósito como telha de cobertura requer recobrimento total das peças por filme impermeabilizante. No aspecto geral, o material gerou telhas de forte apelo estético, como boa resistência mecânica em peças leves e de fácil transporte e fixação.

O adesivo de tanino comprovou oferecer excelente qualidade nas colagens, proporcionando as amostras de maior resistência mecânica entre os tratamentos testados. Valeria a pena investigar se o mesmo processo adotado

na produção das telhas, incorporando carga mineral na resina e reduzindo a umidade das fibras no processo, geraria realmente um material de qualidade superior ao estudado neste trabalho.

A forma com que foi conduzida a pesquisa, entre erros e acertos se demonstrou adequada. Isso ficou mais claro quando, nas etapas finais da pesquisa, surgiu a oportunidade de se visitar, na Índia, uma indústria inaugurada há dois anos e desconhecida anteriormente por nós, fabricando em escala um material muito semelhante ao que se dedica esse estudo. Com dez anos de pesquisa e desenvolvimento, nos quais se consumiu grande quantidade de recursos humanos e materiais, o grupo indiano teve um êxito gigantesco ao criar e reunir a tecnologia necessária para implantar talvez a única indústria com produção comercial de chapas de fibra de coco do mundo. No entanto, as pesquisas do grupo avançaram pouco nas áreas de componentes moldados e utilização de resinas vegetais, dois elementos estruturais desta pesquisa e apontados pelos indianos como uma tendência futura de mercado para esse tipo de material.

A empresa indiana Natura Fibretech produz, em escala industrial, chapas de fibra de coco e resina fenólica sintética para uso exterior de eficácia comprovada: além dos resultados experimentais comprobatórios, diversos galpões da própria fábrica têm vedação de chapas de fibra de coco e resina, e estão expostos ao tempo há mais de dois anos, sem aparente sinal de desgaste. Tais resultados foram alcançados em parte pela adaptação do adesivo à fibra de coco e pela incorporação de uma lâmina de papel resinado com fibra de juta, que sela as faces dos painéis.

As propriedades mecânicas demonstradas pelas chapas planas e pelos protótipos de telha de cobertura associadas à sua plasticidade indicam a forte vocação do material para aplicação em componentes moldados não somente para construção civil e mobiliário, mas também para equipamentos públicos (caixas de correio, bancos, abrigos de parada de ônibus, orelhões), embalagens, forração interna e painéis de automóveis.

Dada a natureza exploratória deste trabalho, somente os aspectos mais importantes para o desenvolvimento da pesquisa foram abordados, permanecendo sem resposta uma série de indagações quanto às soluções para os problemas encontrados bem como quanto aos desdobramentos e possíveis derivações do processo tecnológico desenvolvido.

8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGOPYAN, Vahan. *Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento : O uso de fibras vegetais*. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dep. Eng. de Construção Civil. São Paulo, 1991.

ALMEIDA, A .E. F. S. ; FERREIRA, O . P. - *Revestimentos Poliméricos para Proteção à Corrosão Bacteriológica do Concreto*. In: 41º Congresso Brasileiro do Concreto, Salvador, Bahia – de 30 de agosto a 03 de setembro de 1999. Anais 2.1.21, pg 140.

ANÔNIMO. *Bagasse panels bonded with urea-formaldehyde resin*. Assignee: Societe Anon. Verkor. Patent: P.N.: GB 1127700. I.D.: 680918. Grã-Bretanha, 1968.

ANÔNIMO. *Resin-coated rice hulls and the production of composite articles therefrom*. Assignee: Cor. Tech. Research Ltd. Patent. P.N.: GB 1403154. I.D.: 750813. Grã-Bretanha, 1975.

APODACA, Julia K. *Natural Fibers Fact Book 1993*, The University of Texas at Austin: Bureau of Business Research: Natural Fibers Research and Information Center. Austin, 1993.

ASTM Committee on Standards. *1992 Annual Book of ASTM Standards*. Section 4, volume 04.09. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1992.

BERG, Jeroen C.J.M. van den , STRAATEN, Jan van der. *Toward Sustainable Development - Concepts, Methods, and Policy*. International Society for Ecological Economics. Island Press. Washington D.C. , 1994.

BYNUM, Richard T., Jr. *Handbook of Alternative Materials in Residential Construction*. McGraw-Hill. New York, 1998.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *Educational Furniture. Part 1. Specification for functional dimensions, identification and finish of chairs and tables for educational institutions* . BS 5873 : Part 1: 1980.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *Educational Furniture. Part 2. Specification for strenght and stability of chairs for educational institutions* . BS 5873 : Part 2: 1991.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *Educational Furniture. Part 3. Specification for strength and stability of tables for educational instututions* . BS 5873 : Part 3: 1985.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÕES E EQUIPAMENTOS ESCOLARES- CEBRACE. *Mobiliário escolar, 1º e 2º graus*. Equipamentos escolares 1. MEC/CEBRACE. Rio de Janeiro, 1978.

COSTA, C.Z. e WIEDMAN, G.A. *Fibra de coco: tecnologia e design*. In: Revista Sinopses 25, 48-53. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996

ECONOMIC SURVEY OF INDIA, THE. Agriculture Section. *Production and Consumption of Natural Rubber* at <http://ieo.org/es008.html>, 1997.

FARIA, L. G. de. *Fibras Naturais*. Relatório técnico. Universidade Federal do Pará. Programa Pobreza e Meio Ambiente na Amazônia, setor de Beneficiamento e Energia. Belém, 1993.

FERREIRA, O . P. ; VECCHIA, F. A. S. - *Impermeabilización de cubiertas de viviendas de interés social*. In: I Simpósio Internacional sobre Viviendas de Interés Social, Antigua - Guatemala - de 10 a 14 de abril de 2000.

FERRI, Mário G. *Plantas Produtoras de Fibras*. E.P.U - Editora Pedagógica e Universitária Ltda. São Paulo, 1976.

FOLHA DE SÃO PAULO. *Coco Muda a Paisagem do Interior*. Caderno Agrofolha p. 3-4. 18 de janeiro de 2000.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Agriculture statistical database at <http://apps.fao.org/default.htm>, 2001.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Intergovernmental Group on Hard Fibres / Intergovernmental Group on Jute, Kenaf and Allied Fibres. Intersessional note. FAO, 1999. 6 p. (ESC: HF 99/1 – JU 99/1).

FREMOND, Y. e ZILLER, R. *El Cocotero*. Editorial Blume. Madrid. 1974.

FRIESEN, Phyllis L. *Natural Fibers: Nature's Ancient Gifts for a Modern World*. 3^a ed. The Arbidar Co. Sula, Montana, 1994.

GEETHAMMA, V.G.; MATHEW, K. THOMAS; LAKSHMINARAYANAN, R.; THOMAS, SABU, *Composite of short coir fibres and natural rubber: effect of chemical modification, loading and orientation of fibre*. Polymer, Volume: 39, Issue:

6-7, March, 1998, pp. 1483-1491.

GERMAN STANDARDS COMMITTEE (Deutschen Normenausschuss). Taschenbuch 31, Holz. 1971. *Specifications for particleboard* . DIN 68761 (1) - 1961, (3) -1967.

GERMAN STANDARDS COMMITTEE (Deutschen Normenausschuss). *Furniture - Chairs and tables for educational institutions – Functional sizes* . DIN ISO 5970, Jan, 1981.

GOMES, Raimundo Pimentel. *O Coqueiro-da-Bahia* . Nobel. São Paulo, 1989.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Coco – da cultura ao processamento e comercialização* . Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária. Instituto de Tecnologia de Alimentos. São Paulo, 1980.

GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ. *Tecnologias de produção e beneficiamento de fibras naturais – geração, validação, difusão e transferência* . Secretaria de Estado de Ciência, tecnologia e Meio-Ambiente. Belém, 1993.

GRADOVICH, V.A. Prospects for the expansion of the manufacture of constructional boards from flax waste. *Proizv. Stroit. Izdelli iz Plastmass*. Sb. 73. Rússia, 1963.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Levantamento Sistemático da Produção Agrícola*. Tabelas 1618 e 188 para os anos de 1994 e 2000 em www.sidra.ibge.gov.br.

INSTITUTO DE BIOMECÂNICA DE VALENCIA. *Guia de Recomendaciones para el Diseño de Mobiliario Ergonomico* . IBV, Valência, 1992.

INSTITUTO DE FOMENTO À PRODUÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS NA AMAZÔNIA. *Seminário sobre Fibras Vegetais na Amazônia* . IFIBRAM : Governo do Estado do Amazonas. Manaus. Maio, 1975.

ISAAC, THOMAS T.M. *Modernization and Employment: the Coir Industry in Kerala*. Indo- Dutch Programme on Alternatives in Development (IDPAD). Sage Publications India Pvt. Ltd. New Delhi, 1992.

JARMAN, C. G. *La preparacion de pelo de coco por métodos tradicionales* . Tropical Products Institute, Pub. G 52. London, 1970.

JARMAN, C. G. *Modern methods of coconut fibre extraction* . Tropical Products Institute, Pub. G 29. London, 1970.

JARMAN, C. G. *The extraction and processing of coconut fibre* . Tropical Products Institute, Pub. G 94. London, 1970.

JOHN, Vanderley. *Apresentação do Sistema de Painéis IPT/IDRC*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. Agrupamento de Materiais de Construção Civil. Divisão de Engenharia Civil. São Paulo, 1994.

KHALEYAN, V. P. , BAGDASARYAN, A. B., e KHALEYAN, G. V. *Composition for moulding structural panels containing phenol-fomaldehyde resin, foamer, urotropin, expanded perlite, ground straw and reed stems*. Assignee: (ERSH=) Erev Shinanyut Wks., (ACSM=) Armn Cons Mater Ind. Patent. P.N.: SU 885206. I.D.: 811130. Rússia, 1981.

KIRBY, R. H. *Vegetable Fibers: Botany, Cultivation and Utilization*. Leonard Hill. London, 1963.

KLUGE, Z.E., TSEKULINA, L. e SAVEL' EVA, T.G. Manufacture of hardboards from rice straw. *Teknol. Modif. Drev.*, 55. Rússia, 1978.

LIMA, Gilson Lameira de. *Tecnologia de Construção em Madeira de Reflorestamento de Pinus spp para Habitação de Interesse Social*. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1990.

LIMA, Luis Santana. *Adesivos para Madeira*. Revista Madeira / Móveis. 1 (2). Maio/ Agosto, 1983.

LIMA, Mayumi Souza. *A Cidade e a Criança*. Nobel, São Paulo, 1989.

MALONEY, T. M. *Modern Particleboard & Dry Process Fiberboard Manufacturing*. Miller Freeman Pub., San Francisco, 1977.

MARRA, A. A. *Technology of Wood Bonding - Principles in Practice*. Van Nostrand Reinhold. New York, 1992.

MARROQUIM, S. C. *A Cultura do Coco e seu Beneficiamento*. In: I Seminário Nacional sobre Utilização de Fibra de Coco e Látex na Indústria Automobilística. p. 2-18. Recife, 1994.

McKIBBEN, BILL. *The Enigma of Kerala*. Utne Reader, pp.103-112. March-April 1996. s.l.

MEDINA, J. C. *Plantas fibrosas da flora mundial*. Instituto Agrônômico de Campinas. Campinas, 1959

MELLO, E. C. DE. *À sombra dos coqueirais*. Folha de São Paulo. Caderno mais!, p. 3. 4de abril de 1999.

MENON, K. P. V. e PANDALAI, K. M. *The Coconut Palm – a Monograph*. Central Coconut Research Station, Kayangulan. Indian Central Coconut Comitee. Ernakulam. S. Índia. 1958.

MEYER, M. R. *Elaboración de Productos Agrícolas*. Editorial Trillas. México, 1982.

MITSCHEIN, Thomas , MAGAVE, Jair e JUNQUEIRO, Ronald. *Amazônia: Alianças em Defesa da Vida* . Universidade Federal do Pará. Programa Pobreza e Meio Ambiente na Amazônia - POEMA. Belém, 1994.

MOSTEIRO, A. *Utilization of coconut palm timber: It's economic significance in some countries in the tropics*. In: Forpride Digest. Vol. VII, No. 1. 1978.

NIVEN, Christine. *South India Guidebook*. pp. 388-389. Lonely Planet Publications. Paris, 1998.

OXFORD, H.W. *Anthropometric data for educational chairs* . Ergonomics, 1969, 12 (02): 140-161.

PANDEY, S. N., METHA, S. A. e TAMHANKAR, S. H. V. *Particle boards from cotton plant stalks*. Assignee: Indian Council of Agricultural Research. Patent. P.N.: IN 145886. I.D.: 790113. 1979.

PASTORE, JÚNIOR, F. E SANTANA, M. A. *Adesivo de tanino-formaldeído para fabricação de compensado e aglomerado para uso exterior* . Ministério da Agricultura / IBDF. Laboratório de Produtos Florestais. Brasília, 1981.

PIZZI, A. *Tannin-based wood adhesives* . In: Wood Adhesives, Chemistry and Technology. Vol. 1. Ed. A. Pizz, Chapter 4. 177-246. , Marcel Dekker Inc., New York, 1983.

PIZZI, A. e H. O. Scharfetter. 1981. *Adhesives and techniques open new possibilities for the wood processing industry. Part 1 : Experiment with tannin based adhesives* . Holz Roh – Werkstoff 39, 85-89.

_____. *Adesivos para Madeira* . Revista da madeira. p. 20-26. Curitiba, 1980

_____. *Tanino: Alternativa para o fenol*. Revista Química Industrial 9. Rio de Janeiro. p.10-11. 1988.

ROWELL, R.M. *The state of art and future development of bio-based composite science and technology towards the 21st. Century*. In: Proceedings, the fourth Pacific Rim bio-based composites symposium, November 2-5, 1998, Indonesia. P. 1-18.

SANTANA, M. A. , TEIXEIRA, D. E. *Uso de bagaço de cana-de-açúcar na confecção de chapas aglomeradas* . Anais do 7º Congresso Florestal Brasileiro. p. 667-672. 1993.

SANTANA, M. A., BAUMANN, M. G. e CONNER A. H. *Resol Resins Prepared with Tannin Liquified in Phenol* . Holzforschung 49. 146-152. 1995.

SANTANA, M. A., PASTORE, Júnior F. e COPPENS H. *Chapas aglomeradas de babaçu e cola de tanino*. Relatório PRODEPEF, PNUD/FAO/IBDF. Laboratório de Produtos Florestais. Brasília, 1983.

SAVASTANO JR., *Fibras de Coco em Argamassa de Cimento Portland para Produção de Componentes de Construção Civil*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dep. Eng. de Construção Civil. São Paulo, 1987.

SAVASTANO JR., H.; NOLASCO, A.M.; OLIVEIRA, L. *Disponibilidade de resíduos de alguns tipos de fibra vegetal, no Brasil, para uso em componentes de construção*. In: SEMINARIO IBEROAMERICANO 1997 DE MATERIALES COMPUESTOS FIBRORREFORZADOS, 1., y REUNION PROYECTO PIP VIII.5 CYTED, 3., Santiago de Cali, mai. 1997. Memorias. Santiago de Cali, Universidad del Valle/Cyted, 1997. p.128-32. (Artículo 16)

SAVASTANO JR., H.; AGOPYAN, V.; NOLASCO, A.M.; PIMENTEL, L. *Plant fibre reinforced cement components for roofing*. *Construction and Building Materials*, Kidlington, v.13, n.8, p.433-8, 1999.

SELLERS, T. Jr. *Plywood and Adhesive Technology*. Marcel Dekker, New York, 1985.

SILVA, I. J. *Contribuição ao estudo da utilização da resina poliuretana a base de óleo de mamona na Construção Civil*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1996. 163p

SISKÓ, Marja e PFÄFFLI, Ilvessalo. *Fiber Atlas – Identification of Papermaking Fibers*. Springer Series in Wood Science. Springer-Verlag. Alemanha, 1995.

SOBRAL, H. S. (editor). *Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials*. Proceedings of the Second International RILEM Symposium. Chapman and Hall. London, 1990.

SREEKALA, M.S., KUMARAN M.G., JOSEPH, Seena, JACOB, Maya e THOMAS, SABU. Oil Palm Reinforced phenol formaldehyde Composites: Influence of Fibre Surface Modifications on the Mechanical Performance. In: *Applied Composite Materials*, 7. pp. 295-329. Kluwer Academic Publishers. Netherlands, 2000.

WIEDMAN, G.A., COSTA, C.Z. e NAHUZ, M.A.R. *Coir-Based Fiberboard for Molded Components*. In: Proceedings from the Third International Symposium on Natural Polymers and Composites; Workshop in Production and Processing of Cellulosic Fibres and Natural Polymers from the Working Group WG/2 of FAO European Cooperative Research Network on Flax and other Bast Plants. p. 488-492. São Pedro, SP, Brazil, 2000.

XAVIER, Tabaracy G. *Adesivos à Base de Tanino na Fabricação de Chapas Aglomeradas e Compensadas: Um Jeitinho Brasileiro que Está Dando Certo* . Revista Madeira / Móveis. 1 (2). Maio/ Agosto, 1983.

YOUNGQUIST, J.A., ENGLISH, B.E., SCHARMER, R.C., CHOW, P. e SHOOK, S.R. *Literature review on use of non-wood plant fibers for building materials and panels*. USDA Forest Service General Technical Report FPL-GTR-80. 1993.

YOUNGQUIST, J.A., KRZYSIK, A.M., CHOW, P. e MEIMBAN, R. *Properties of Composite Panels*. In: Paper and Composites from Agro-Based Resources. Chapter 9. p.302-333. Lewis Publishers. New York, 1997.

8.1. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

AUDOUZE, Jean. *Uma Justa Partilha das Energias*. In: Correio da Unesco nº 7. Julho 1998. P. 8-13. Editora Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, 1998.

CORLETT, E.N. *Analysis and evaluation of working posture* in Ergonomics of Workstation Design . Butterworths, Guilford, 1-18, 1983.

HIRA, D. S. *An ergonomic appraisal of educational desks* . Ergonomics, 23 (03): 213-221, 1980.

LENGEN, Johan Van. *Manual do Arquiteto Descalço*. Instituto de Tecnologia Intuitiva e Bio-Arquitetura- Tibá. Rio de Janeiro, 1996.

OXFORD, H.W. *Anthropometric data for educational chairs* . Ergonomics, 1969, 12 (02): 140-161.

SANTOS, Maria Cecília Loschiavo dos. *Móvel Moderno no Brasil* . Studio Nobel: Fapesp: Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

FERREIRA, O . P. ; MARCHESONI, F. M.- *Utilização de compósitos de resina poliuretana de origem vegetal para uso em edificações*. In: Jornadas de la Asociación Argentina de Materiales – SAM '98 –“IBEROMET V” Rosario, ARGENTINA, 14 – 18 de setembro de 1998 - p.82, 12-M.7

FERREIRA, O . P. ; VECCHIA, F. A. S. – *Impermeabilização de coberturas e outras construções com a utilização de resina vegetal*. In: Simpósio Internacional sobre Cubiertas e Entrepisos, Havana, Cuba – de 12 a 14 de maio de 1999.

ANEXO: RELATÓRIOS TÉCNICOS DE ENSAIO