

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Caracterização tecnológica de painéis de fibras da madeira de eucalipto, *Eucalyptus grandis*, e de partículas do bagaço do colmo de cana-de-açúcar, *Saccharum sp*

Ugo Leandro Belini

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2012**

**Ugo Leandro Belini
Engenheiro Florestal**

**Caracterização tecnológica de painéis de fibras da madeira de eucalipto,
Eucalyptus grandis, e de partículas do bagaço do colmo de cana-de-açúcar,
*Saccharum sp***

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

**Orientador:
Prof. Dr. MARIO TOMAZELLO FILHO
Co - Orientador:
Prof. Dr. JOSÉ LUIS P. C. LOUZADA**

**Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos
Florestais**

**Piracicaba
2012**

Dedico

Com gratidão, aos meus pais Edno e Shirley.

E, em especial, à Marta.

AGRADECIMENTOS

O período de curso do Doutorado, que decorreu efetivamente entre os anos de 2009 a 2011, foi marcado por grandes mudanças e uma transição de atividades profissionais do setor privado para a academia. Queria brevemente citar entidades, alguns amigos, colegas e instituições que muito contribuíram nesta etapa e dizer que não quero, em função da ordem em que aparecem listados, indicar maior ou menor relevância. Apenas que as citei de forma livre e com sincera gratidão.

Em especial a *Deus*, por toda a força e saúde.

A minha *Família*, aos eternos laços de amor e companheirismo presentes em todas as caminhadas.

Professor *Mario Tomazello Filho*: à amizade e longo tempo de atividades conjuntas, pronta orientação e competência para todos os desenvolvimentos deste trabalho.

Pesquisador *José Luis P. C. Lousada*: á amizade, co-orientação, análises estatísticas e ótimo convívio durante o período em Portugal.

A *Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)*, devido ao fornecimento de bolsa Doutorado e reserva técnica.

A *Duratex S.A.*, na pessoa do Engenheiro *José Reinaldo Sartori Astolphi*, amigo e Gerente de Desenvolvimento de Painéis, pela disponibilidade da excelente e completa estrutura fabril. Aos Técnicos *Paulo Milton R. de Lima* e *Djai Artioli Munhoz* pelo fundamental apoio na confecção e auxílio na análise dos painéis. Aos amigos das Unidades Agudos e Botucatu. Serei sempre grato.

À *Usina Açúcareira São Manuel S.A.*, pelo fornecimento do bagaço de cana-de-açúcar.

A *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)*, pelo apoio financeiro do Programa CAPES-GRICES para a bolsa sanduíche no exterior.

Pesquisadores *Gilles Chaix*, *Paulo R.G. Hein*, *Marie-France Thevenon*, *Nicolas Lemenager* e *Christine Baudassé* do *CIRAD* em Montpellier, França: ótima receptividade, grande profissionalismo e disponibilização de estrutura durante os bioensaios e análises NIR.

Pesquisador *José Xavier* e Professor *José Morais*, da *UTAD* em Portugal: trabalho conjunto e grande apoio computacional nos ensaios óticos.

Professores *Adriano Wagner Ballarin* e *Hernando Alfonso de Lara Palma* da *UNESP*; Professor *Geraldo Bortoletto Jr.* da *ESALQ*; Professor *Lourival Marin Mendes* da *UFLA*: importantes contribuições para melhoria deste trabalho.

MSc. *Guilherme Biz*: grande auxílio nas análises estatísticas.

Pesquisador *José Carlos Rodrigues*, do *IICT* em Lisboa: à amizade e auxílio nas análises NIR.

A *EMBRAPA-CNPDIA*, na pessoa do Dr. *Paulo R. O. Lasso*, pela sempre pronta disponibilidade para uso do microtomógrafo de raios X.

Aos amigos da *UTAD*, Professora *Maria Emília*, *César Gomes*, Professora *Maria João* e *Armindo Gonçalves* pelo ótimo convívio, e ao Laboratório de Microscopia Eletrônica, nas pessoas da Dra. *Lisete Fernandes* e Professora *Tereza Maria*, pela obtenção das imagens MEV.

Aos Professores da Área de Tecnologia de Produtos Florestais do LCF/ESALQ/USP, em especial *Ivaldo Pontes Jankowsky* e *José Otávio Brito*, e a *Catarina Germuts* e *Luis E. Facco*.

Aos amigos do Laboratório, em especial à Técnica *Maria Ap. Bermudez*, ao *Matheus P. Chagas*, *Dr. Carlos R. Sette Jr.*, *Dr. Claudio Lisi*, *Angel T. B. Ferreira*, *Moises S. Lobão*, *Vinícius R. de Castro*, *Victor H. Moutinho*, *Cláudio Roberto*, *Marco Arizapana*, *Boris Villa*, *Priscila Geroto*, *Daniel Costa*, *Alisson Rangel*, *Mariana*, *Alejandro*, e do Programa de Pós Graduação em Recursos Florestais do LCF/ESALQ/USP, em especial *Ariel*, *Saly*, *Javier* e *Paula*.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO..... | 11 |
| ABSTRACT..... | 13 |
| LISTA DE FIGURAS..... | 15 |
| LISTA DE TABELAS..... | 21 |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS..... | 23 |
| 1 INTRODUÇÃO | 25 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 33 |
| 2.1 Produção e características do bagaço do colmo de cana-de-açúcar..... | 33 |
| 2.2 Oferta da biomassa de cana-de-açúcar..... | 35 |
| 2.3 O eucalipto e o bagaço de cana-de-açúcar para a confecção de painéis de fibra e partícula..... | 36 |
| 2.3.1 O painel de fibra (MDF)..... | 36 |
| 2.3.2 O painel de partícula (aglomerado ou MDP)..... | 37 |
| 2.3.3 O bagaço de cana-de-açúcar..... | 38 |
| 2.4 A importância dos componentes celulares na confecção de painéis de fibra..... | 38 |
| 2.5 Histórico do desenvolvimento dos painéis de madeira..... | 39 |
| 2.6 Produtos alternativos a madeira para confecção de painéis reconstituídos..... | 41 |
| 2.7 Aplicações e aspectos mercadológicos dos painéis MDF..... | 44 |
| 2.8 Insumos utilizados na confecção de painéis MDF..... | 46 |
| 2.8.1 Resina..... | 46 |
| 2.8.1.1 Formaldeído..... | 47 |
| 2.8.2 Emulsão de parafina..... | 48 |
| 2.9 Propriedades tecnológicas de painéis MDF e MDP de resíduos vegetais.. | 48 |
| 2.10 Densitometria de raios X aplicada à análises de painéis..... | 51 |
| 2.11 Espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) aplicada à análise de painéis..... | 51 |
| 2.12 Análises óticas/deflectometria aplicada à análise de painéis..... | 52 |
| 2.13 Microtomografia de raios X (microCT) aplicada à análise de painéis..... | 54 |
| 2.14 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) aplicada à análise de painéis | 55 |

| | |
|--|----|
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 57 |
| 3.1 Coleta do bagaço de cana-de-açúcar, da madeira e das fibras de eucalipto..... | 57 |
| 3.1.1 Local e coleta do bagaço de cana-de-açúcar..... | 57 |
| 3.1.2 Local de coleta da madeira e fibras de eucalipto..... | 58 |
| 3.2 Caracterização dos colmos de cana-de-açúcar, da madeira de eucalipto e de sua mistura em diferentes porcentagens..... | 58 |
| 3.2.1 Caracterização anatômica dos colmos de cana-de-açúcar..... | 58 |
| 3.2.2 Caracterização anatômica da madeira de eucalipto..... | 58 |
| 3.2.3 Caracterização macroscópica da mistura de partículas de cana-de-açúcar e fibras de eucalipto em diferentes porcentagens..... | 58 |
| 3.2.4 Análises complementares dos colmos de cana-de-açúcar, da madeira de eucalipto e de sua mistura em diferentes porcentagens..... | 59 |
| 3.2.4.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)..... | 59 |
| 3.2.4.2 Espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)..... | 59 |
| 3.3 Confeção dos painéis de fibras de eucalipto e partículas de cana-de-açúcar..... | 60 |
| 3.3.1 Delineamento experimental e tratamentos dos painéis..... | 60 |
| 3.3.2 Preparo das amostras de bagaço de cana-de-açúcar..... | 61 |
| 3.3.2.1 Classificação granulométrica..... | 61 |
| 3.3.3 Preparo das amostras de fibras da madeira de eucalipto..... | 63 |
| 3.3.4 Mistura das fibras e partículas, insumos e prensagem do colchão para a confecção dos painéis..... | 63 |
| 3.3.5 Insumos utilizados na confecção dos painéis..... | 67 |
| 3.4 Caracterização dos painéis de fibras de eucalipto e partículas de cana-de-açúcar..... | 69 |
| 3.4.1 Caracterização dos perfis de densidade por atenuação de raios X..... | 69 |
| 3.4.1.1 Densitômetro GreCon DA-X..... | 69 |
| 3.4.1.2 Densitômetro Joyce LoebI..... | 70 |
| 3.4.2 Caracterização por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)..... | 72 |
| 3.4.3 Caracterização das propriedades físico-mecânicas..... | 73 |
| 3.4.3.1 Caracterização por análises óticas (deflectometria)..... | 76 |
| 3.4.4 Caracterização química (teor de sílica e de formol livre)..... | 79 |

| | |
|---|-----|
| 3.4.5 Caracterização da durabilidade biológica (bioensaios)..... | 80 |
| 3.4.5.1 Resistência ao ataque de cupins..... | 80 |
| 3.4.5.2 Resistência ao ataque de fungos..... | 81 |
| 3.4.6 Caracterização anatômica através de microscopia eletrônica de varredura (MEV)..... | 82 |
| 3.4.7 Caracterização por microtomografia de raios X..... | 83 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 87 |
| 4.1 Caracterização das fibras de eucalipto, partículas do bagaço de cana-de-açúcar e da mistura de ambas..... | 87 |
| 4.1.1 Caracterização macroscópica dos elementos fibrosos e misturas praticadas..... | 87 |
| 4.1.2 Classificação granulométrica do bagaço de cana-de-açúcar..... | 91 |
| 4.1.3 Caracterização anatômica através de microscopia eletrônica de varredura (MEV)..... | 92 |
| 4.1.4 Caracterização por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)..... | 96 |
| 4.2 Caracterização dos painéis de fibras de eucalipto e partículas do bagaço de cana-de-açúcar..... | 99 |
| 4.2.1 Caracterização dos perfis de densidade por atenuação de raios X..... | 99 |
| 4.2.1.1 Densitômetro GreCon DA-X..... | 99 |
| 4.2.1.2 Densitômetro Joyce Loebel..... | 106 |
| 4.2.2 Caracterização dos painéis por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)..... | 110 |
| 4.2.3 Caracterização das propriedades físico-mecânicas..... | 112 |
| 4.2.3.1 Etapa A..... | 112 |
| 4.2.3.2 Etapa B..... | 117 |
| 4.2.3.3 Influência da dosagem de resina..... | 124 |
| 4.2.3.4 Caracterização dos painéis por análise ótica (deflectometria)..... | 126 |
| 4.2.4 Caracterização química..... | 128 |
| 4.2.4.1 Teores de sílica..... | 128 |
| 4.2.4.2 Teores de formol livre..... | 130 |
| 4.2.5 Caracterização dos painéis quanto a durabilidade biológica (bioensaios)..... | 132 |
| 4.2.5.1 Resistência ao ataque de cupins..... | 132 |

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

