



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

LARISSA DUDECKI

**EFEITO DO ATAQUE DE FUNGOS LIGNOLÍTICOS EM CAVACOS DE
Eucalyptus spp.**

JERÔNIMO MONTEIRO

2015

LARISSA DUDECKI

**EFEITO DO ATAQUE DE FUNGOS LIGNOLÍTICOS EM CAVACOS DE
Eucalyptus spp.**

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

JERÔNIMO MONTEIRO

2015

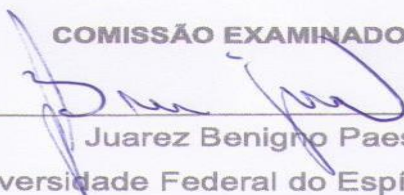
LARISSA DUDECKI

**EFEITO DO ATAQUE DE FUNGOS LIGNOLÍTICOS EM CAVACOS DE
Eucalyptus spp.**

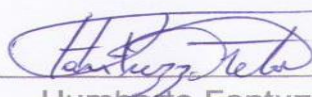
Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeirada Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

Aprovada em 04 de DEZEMBRO de 2015

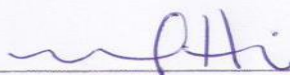
COMISSÃO EXAMINADORA



Juarez Benigno Paes
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Humberto Fantuzzi Neto
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador



Walter Torezani Neto Boschetti
Universidade Federal de Viçosa
Examinador

DEDICATÓRIA

A Deus pelo seu amor incondicional.

Minha mãe e avó por todo esforço que fizeram, todas minhas conquistas foram fruto de todo trabalho e dedicação delas.

A minha irmã e pelas amizades que me deram todo apoio e motivação.

A todos os Professores e em especial a Juarez Benigno Paes e Humberto Fantuzzi Neto pelo conhecimento e dedicação para a realização deste trabalho.

“É muito melhor conquistar a sabedoria do que o ouro puro. É mais proveitoso obter o entendimento do que a prata mais valiosa!”

Provérbios 16:16

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado forças. O seu amor foi minha fortaleza para alcançar meus objetivos e, as dificuldades encontradas foram necessárias para meu crescimento e amadurecimento. A Nossa Senhora pela sua intercessão durante a caminhada. A minha mãe pelo carinho, amor, dedicação e esforço para me ajudar.

Aos meus avós que me deram todo apoio e principalmente minha avó que acreditou em mim e me ajudou em todos os momentos na qual necessitei. A Dona Glória por todo carinho, pelas ligações de motivação e orações que fez durante todo o período da minha graduação.

A minha irmã pelo amor e carinho. Aos amigos e em especial a Letícia, Raiany, Fernanda e Fernando, que sempre me atenderam quando eu precisava chorar, desabafar, comemorar e dizer que estava com saudade, descobrimos o verdadeiro valor da amizade quando a distância em vez de destruir fortalece.

Aos colegas do Curso Engenharia Industrial Madeireira pelos momentos compartilhados, e em especial à amizade de Ana Carolina, Ana Raquel, Dâmaris, Érica, Thaís, Tatá e Sabrina, obrigada pelos momentos maravilhosos que passamos, todo apoio, carinho e motivação.

À Universidade Federal do Espírito Santo pela possibilidade em realizar o Curso de Graduação em Engenharia Industrial Madeireira.

Aos meus Mestres por todo ensino transmitido durante a graduação. Vocês foram importantes para minha formação.

Aos Técnicos de laboratório Gilson e José Geraldo pela disposição para realização deste trabalho.

Ao Walter e o Professor Humberto por aceitarem o convite de participar da banca do presente trabalho. Ao meu orientador por toda paciência e orientação durante meus projetos de Iniciação Científica e Trabalho de Conclusão de Curso, não ganhei um orientador e sim um pai de graduação.

A empresa Celulose Nipo Brasileira S.A. (Cenibra) pelo fornecimento do material para realização deste trabalho.

Por fim agradeço a todos que fizeram parte diretamente e indiretamente, por mais que não foram citados, tenho um carinho por todos aqueles me ajudaram durante esta caminhada.

RESUMO

A composição química da madeira é formada por celulose, hemiceluloses e lignina, que são responsáveis por manter a estrutura da árvore. O consumo de espécies de florestas plantadas para fabricação de celulose vem aumentando nas últimas décadas, sendo as mais utilizadas o *Eucalyptus* spp.. A celulose e hemiceluloses são importantes para fabricação da polpa celulósica, já a lignina é um componente indesejável. A degradação da lignina pode ser por reagentes químicos ou por organismos lignolíticos (biopolpação). O emprego da biopolpação pode diminuir a quantidade de reagentes químicos, o que é de interesse ecológico. O objetivo do trabalho foi analisar a decomposição da lignina pelo uso de fungos lignolíticos (*Trametes versicolor*, *Pycnoporus sanguineus* e *Polyporus fumosus*) como agente degradador de cavacos industriais de *Eucalyptus* spp.. As amostras foram inoculadas durante 15 dias e foram analisadas as quantidades deligninas presentes na madeira. Dentre os fungos utilizados, o *Pycnoporus sanguineus* atacou mais intensamente a lignina insolúvel, enquanto o *Polyporus fumosus* a solúvel e o *Trametes Versicolor* os extrativos. Para biopolpação, o fungo mais indicado é o *Pycnoporus sanguineus*, pois com a remoção da lignina, gerou uma porcentagem maior de holocelulose por massa de madeira.

Palavras-chave: Madeira. Lignina. Biopolpação. Polpa celulósica.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Problema e sua importância | 1 |
| 1.2 Objetivos | 2 |
| 1.2.1 Objetivo geral..... | 2 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 2 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 Gênero <i>Eucalyptus</i> spp..... | 3 |
| 2.2 Composição química..... | 4 |
| 2.2.1 Celulose | 4 |
| 2.2.2 Hemiceluloses | 5 |
| 2.2.3 Lignina | 5 |
| 2.3 Processo de biopolpação | 6 |
| 2.4 Decomposição da madeira por fungos..... | 7 |
| 2.4.1 Podridão parda | 7 |
| 2.4.2 Podridão branca..... | 8 |
| 2.4.3 Podridão mole..... | 8 |
| 3 METODOLOGIA..... | 9 |
| 3.1 Obtenção, classificação, umidade e densidade dos cavacos | 9 |
| 3.2 Inoculação dos fungos | 9 |
| 3.3 Caracterização química da madeira..... | 11 |
| 3.3.1 Teor de lignina | 12 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 14 |
| 5 CONCLUSÃO..... | 18 |
| 7 REFERÊNCIAS..... | 19 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Composição dos componentes elementares | 4 |
| Tabela 2 - Quantidades de serragem utilizados para determinar teor de extrativos.. | 11 |
| Tabela 3 - Quantidades de serragem utilizados para teor de lignina. | 12 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Solução utilizada para aspergir nos cavacos. | 10 |
| Figura 2 - Cavacos com a solução de fungos | 10 |
| Figura 3 - Extração do material. | 12 |
| Figura 4 - Separação das ligninas insolúvel e solúvel..... | 13 |
| Figura 5 - Extrativos nos cavacos atacados e não atacados pelos fungos (%)..... | 14 |
| Figura 6 - Teores de lignina insolúvel (%). | 15 |
| Figura 7 - Teores de lignina solúvel (%)..... | 16 |
| Figura 8 - Teores de holocelulose (%) | 17 |

1 INTRODUÇÃO

A composição química da madeira é formada por polissacarídeos (celulose e hemiceluloses), lignina, extrativos e cinzas. A celulose é o principal componente da parede celular, constituída de polímero de alto peso molecular formado por unidades β -D-glucose. As hemiceluloses (polioses) compreendem as glucoses, manoses, galactoses, xiloses e arabinoses. Já a lignina é formada por um sistema aromático composto de unidades de fenilpropano, sendo uma substância amorfa, que é o último constituinte na parede, interpenetrando as fibrilas e assim fortalecendo, enrijecendo as paredes celulares (KLOCK et al., 2005).

O setor florestal teve grande aumento no Brasil e 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no país vem das árvores plantadas, sendo divididas em espécies exóticas (eucaliptos, pinus e teca) e nativas (aráucaria e paricá). Segundo dados Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2015b) a produção de celulose e papel no país teve aumento de 5,2%, até setembro de 2015, em comparação com 2014, tendo uma produção 12.743 toneladas.

Para a fabricação de polpa celulósica para fabricação no segmento de papéis os componentes mais desejáveis são a celulose e as hemiceluloses. A degradação da lignina pode ocorrer por reagentes químicos e por meio de microrganismos xilófagos. Existe uma diversidade de fungos capazes de degradar os componentes da madeira, inclusive à lignina.

Pavan (2008) ao analisar o efeito da biopolpação em escala piloto para produção de polpas termomecânicas e quimiotermomecânicas em *Eucalyptus grandis*, observou uma diminuição de 18% de consumo de energia elétrica e no custo da produção de polpas mecânicas. Desta forma, o processo de biopolpação tem vantagem de reduzir os custos como reagentes no processo Kraft e diminuir a quantidade de energia necessária, para ocorrer o desfibramento, durante o processo mecânico.

1.1 Problema e sua importância

Para a fabricação de polpa celulósica é necessário utilizar grande quantidade de produtos químicos para realizar a degradação da lignina, gerando um alto custo

para a indústria, ou pela quantidade de energia necessária para realização do processo mecânico. Ao realizar a deslignificação por meio de organismo lignolíticos a empresa vai economizar na utilização dos produtos químicos, diminuir a quantidade de energia para a realização do processo de deslignificação e branqueamento da polpa.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi analisar o teor de lignina na madeira de *Eucalyptus* spp. submetida ao ataque de fungos lignolíticos.

1.2.2 Objetivos específicos

Avaliar os teores de lignina insolúvel, solúvel e total na madeira de *Eucalyptus* spp. submetida ao ataque de fungos lignolíticos.

Comparar os teores de lignina existentes na madeira de *Eucalyptus* spp. antes e após o ataque de fungos lignolíticos.

Verificar a porcentagem de lignina removida em decorrência do ataque de fungos lignolíticos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* é originado da Austrália e pertence a família *Myrtaceae*. Foi introduzido no Brasil por volta do ano de 1868 por Frederico de Albuquerque, e cada vez mais é possível ver seu crescimento no país, pela sua grande variedade de aplicação. Uma grande característica do eucalipto é sua adaptação aos variados climas, desde ambientes secos e quentes até climas úmidos e frios (CARDOSO, 2008).

Até o início do século XX no Brasil o eucalipto foi plantado para fins estéticos, não sendo utilizado para indústria florestais ou energéticas. Em 1904, Edmundo Navarro de Andrade realizou os primeiros experimentos com o objetivo de verificar se a madeira e a lenha tinham utilidades para ferrovias. Depois de 6 anos de estudos o mesmo chegou a conclusão que o mesmo deveria ser plantado em grande escala, pelas suas características e propriedades. Com a escassez de madeira nativa, após o estudo realizado, os estados brasileiros começaram a realizar pesquisas sobre a espécie que foi adotada como alternativa para o suprimento da madeira (BERTOLA, 2002).

No Brasil o eucalipto teve boa adaptação, leva aproximadamente de 5 a 7 anos para ser colhido para a produção de polpa celulósica e suas características fazem com que seja um produto de excelente valor agregado para essa finalidade, além de possuir também aplicações para painéis, carvão vegetal e produtos sólidos de madeira.

De acordo com a IBÁ (2015a) a área de florestas plantadas no Brasil em 2014 atingiu aproximadamente 7,74 milhões de hectares. Os plantios de eucalipto ocuparam 5,56 milhões de hectares da área de árvores plantadas e de pinus foram 1,59 milhão de hectares no País em 2014.

Segundo Magaton (2006) para produção de polpa celulósica nacional a madeira de eucalipto possui destaque em relação às outras espécies, ao avaliar as espécies de *Eucalyptus dunnii*, *E. globulus* e *E. nitens* o autor verificou que as mesmas apresentaram características favoráveis para produção de polpa celulósica, pelos altos teores de carboidratos e menores de lignina.

2.2 Composição química

A madeira é constituída por componentes químicos que podem ser chamados de componentes fundamentais ou acidentais. Os componentes fundamentais são os responsáveis para estrutura da madeira, que são divididos em holocelulose (celulose e hemiceluloses) e lignina. Os componentes acidentais são formados por extrativos e compostos minerais, não fundamentais para estrutura da parede celular da madeira e são compostos orgânicos e inorgânicos (BARRICHELO; BRITO, 1979).

As proporções e composição química da lignina e polioses diferem em coníferas e folhosas, enquanto a celulose é um componente único da madeira (Tabela 1). É importante o conhecimento das propriedades químicas da madeira para utilização adequada, pois para cada aplicação da matéria-prima um componente é mais favorável que o outro (KLOCK, 2005; SANTANA et al., 2011).

Tabela 1 - Composição dos componentes elementares.

| Constituintes | Folhosa Eucalipto | Conífera Pinus | Bagaço de Cana | Palha de Milho |
|---------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Celulose | 34-48 | 40-45 | 30-39 | 45 |
| Hemicelulose | 20-25 | 10-13 | 24-30 | 35 |
| Lignina | 20-29 | 26-34 | 18-22 | 15 |
| Cinzas | 0,3-1,2 | 0,2-0,8 | 1-4 | 45 |

Fonte: Castro (2009).

A holocelulose e lignina não estão uniformemente distribuídas na parede celular. A parede secundária contém alta quantidade de celulose, enquanto maior quantidade de lignina já se encontra na parede secundária camada S1. Contudo, todos esses três componentes podem ser encontrados em todas as camadas da parede celular (AGUIAR, 2008).

2.2.1 Celulose

É um polímero de cadeia linear de glicose de alta massa molecular formado de ligações β 1,4 glicosídicas possuindo estrutura organizada. A molécula de celulose $(C_6H_{10}O_5)_n$ possui variações no seu comportamento, provocadas pela

flexibilidade da região amorfa ou cristalina. É insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e álcalis diluídos em temperatura ambiente (CASTRO, 2009; MAGATON, 2009).

O rendimento e a resistência da polpa celulósica são influenciados pela resistência da celulose que é fornecida para as fibras individuais e ligações destas com a hemicelulose, sendo o principal constituinte para a fabricação da polpa (GOMES, 2007).

2.2.2 Hemiceluloses

É um grupo de polissacarídeos também conhecido como poliose, constituído por unidades de açúcares que podem ser definidos como solúveis em álcali, que podem ser encontrados também na parede celular da biomassa vegetal. Diferente da molécula de celulose a poliose possui grau de polimerização baixo, não forma arranjo fibroso e é solúvel em álcali, é dividida em xilanas e arabinanas, sendo a primeira a principal hemicelulose das folhosas (GOMES, 2007; CASTRO, 2009).

Madeira de folhosas possui maior quantidade de hemiceluloses do que as de coníferas. Nas hemiceluloses já podem existir grupos laterais, ramificações e as cadeias moleculares são mais curtas em comparação com a celulose (KLOCK, 2005).

2.2.3 Ligninas

Componente mais resistente da parede celular e encontra-se associado à celulose e hemiceluloses, sendo uma substância amorfa na qual é localizada na parede secundária. É responsável por fortalecer e enriquecer as paredes celulares da madeira (GOMES, 2007; KLOCK, 2005).

De acordo com (CASTRO, 2009), a lignina é um polifenol construído de unidades de fenil-propanol, sendo considerado um polímero amorfo, cuja estrutura principal, advém da polimerização dehidrogenativa dos álcoois trans-coniferílico, trans-sinapílico e trans-p-cumárico.

O teor de lignina de uma madeira deve ser considerado importante na escolha da matéria-prima em nível industrial para a produção de polpa celulósica pelo processo Kraft, pois exerce influência no consumo de álcali, rendimento da deslignificação, potencial de produtividade industrial no digestor, na geração de sólidos no licor negro para à recuperação, e também sobre o nível de qualidade do produto final (ROSA, 2003).

Resultados obtidos por GOMIDE et al. (2005) ao avaliarem as características dos clones de *Eucalyptus* spp. mostraram que teores de lignina variaram de 27,5 até 31,7%, tendo a lignina do tipo siringila com maiores proporções a lignina guaiacila. As estruturas de siringila foram mais elevadas que as de guaiacila. A razão de lignina siringila/guaiacila é mais reativa durante o processo de polpação, por apresentar menores polissacarídeos de ligações de carbono-carbono com a estrutura fenólica.

2.3 Processo de biopolpação

Segundo Castro (2009), o processo está embasado na utilização de microrganismos (fungos e bactérias) capazes de produzir fenol-oxidases, enzimas envolvidas na degradação da lignina. Tais microrganismos podem promover uma deslignificação dos materiais lignocelulósicos, com simultânea perda de outros componentes da parede celular. Para a produção de polpa celulósica é interessante que ocorre a degradação da lignina, pois esse componente influencia no rendimento durante o processo de polpação.

É utilizado como pré-tratamento para polpação em que é possível diminuir componentes químicos utilizados para degradação da lignina pelo processo kraft, energia necessária para realização do processo mecânico para a polpação e aproveitamento da matéria-prima (AGUIAR, 2008).

De acordo com Aguiar (2008), por causa da cristalinidade do substrato e da lignina a biodegradação da biomassa lignocelulotítica é lenta. A mesma pode ser tratada ou parcialmente fracionada usando processos em que ocorre temperatura elevada, pressão e pré-tratamento capaz de gerar materiais lignocelulolíticos mais sucessíveis ao ataque de microrganismos.

O conceito de biopolpação está embasado na capacidade de alguns fungos de decomposição branca formar colônias e degradar a lignina da madeira deixando a celulose relativamente ileso. A realização da biopolpação pode ser efetuada em pilhas de cavacos a céu aberto, os resultados da decomposição vai depender da necessidade do microrganismo específico (FERRAZ, 2007).

2.4 Decomposição da madeira por fungos

Os fungos são responsáveis pela degradação de grande parte dos componentes químicos da madeira, são agentes biológicos que atacam em maiores proporções, afetando as propriedades mecânicas e estéticas da madeira. Além do material orgânico os fungos precisam de outros fatores para o seu desenvolvimento, como temperatura, pH, oxigênio e umidade.

Os fungos são classificados de acordo com o ataque na madeira, podendo ser classificados como fungos machadores ou apodrecedores (podridão parda, branca ou mole). Os machadores ou emboladores não degradam os componentes da parede celular, afetando somente a estética da madeira causando machas, não influenciando as propriedades mecânicas da madeira.

2.4.1 Podridão parda

Este tipo de podridão é conhecido há vários anos e tem causado grandes danos em edificações de países com climas temperados. Os fungos desta classe degradam a celulose e as hemiceluloses, não degradando a lignina (MORESCHI, 2013).

Calonego (2013) ao comparar o ataque de fungos de podridão branca (*Pycnoporus sanguineus*) e podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*) em madeira de *Eucalyptus* spp. verificou que a degradação da lignina provocada pelo fungo *Pycnoporus sanguineus* foi menor que o *Gloeophyllum trabeum*, tal resultado é explicado em razão do fungo de podridão parda possuir maior capacidade para atacar hidroxilas, sendo capazes de quebrar a molécula de celulose em pequenos pedaços, aumentando a decomposição da madeira.

2.4.2 Podridão branca

A madeira atacada por fungos causadores de podridão branca perde o seu aspecto lustroso e sua cor natural, tornando-se esbranquiçada, como resultado da destruição de seus pigmentos. Esse tipo de fungo ataca a celulose, as hemiceluloses e ligninas, porém sua degradação ocorre em maior quantidade nas ligninas (MORESCHI, 2013).

Segundo Salvi (2011), os fungos basidiomicetos causadores de podridão branca são os únicos organismos capazes de converter ligninas em CO₂ e H₂O desta forma são mais utilizados em processos de deslignificação.

De acordo com os resultados obtidos por Carvalho et al. (2015) a durabilidade da madeira de *Eucalyptus robusta* foi classificada como não resistente ao ataque dos fungos de podridão branca *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*.

Os fungos causadores de podridão branca são os principais agentes decompositores da madeira, pela sua habilidade de degradar todos os componentes da parede celular, entretanto em maior quantidade as ligninas.

2.4.3 Podridão mole

Segundo Moreschi (2013), este tipo de fungo degrada madeira com alto teor de umidade (40 a 80%). O ataque dificilmente passa de 2 cm de profundidade, restringindo à superfície da madeira.

A região atacada pode ser facilmente exposta e prontamente deteriorada, pela fácil remoção mecânica do material atacado. A madeira com este tipo de podridão possui superfície amolecida, e quando seca, a parte atacada apresenta coloração escura e com várias fissuras no sentido das fibras.

3 METODOLOGIA

3.1 Obtenção, classificação, umidade e densidade dos cavacos

Os cavacos de madeira foram oriundos de *Eucalyptus* spp. provenientes da empresa Celulose Nipo Brasileira S.A. (Cenibra), localizada no município de Belo Oriente, Estado de Minas Gerais. Estes foram classificados novamente, sendo utilizados aqueles que ficaram retidos na peneira de malha de 1,0 x 1,0 cm, os quais foram selecionados manualmente, a fim de ter material de dimensões próximas (2,5 x 3,5 cm), tendo sido utilizados, para o experimento, 2,5 kg de material seco.

Para a determinação de umidade e densidade básica da madeira, foram selecionados 10 cavacos, os quais foram secos em estufa, a uma temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até alcançar massas constantes, e realizadas as pesagens para obtenção das massas úmida e seca e determinação do teor de umidade (%), conforme Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 7190, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1997). Para a determinação da densidade básica foi empregado os procedimentos da NBR 1194, ABNT (2003).

3.2 Inoculação dos fungos nos cavacos

Para a inoculação dos fungos nos cavacos e degradação da lignina foram utilizadas espécies de fungos de podridão branca (*Pycnoporus sanguineus*, *Polyporus fumosus* e *Trametes versicolor*). Para tanto, foi utilizada uma placa de Petri contendo meio de cultura malte-ágar e a cultura pura de cada fungo. O material foi disposto em um Becker de 500 mL, e misturado com o uso de um mixer de 200w de potência em 250 mL de água destilada, formando uma solução líquida. Nos cavacos utilizados como testemunha foi utilizada apenas água destilada (Figura 1).

A solução contendo os fungos e a água destilada pura foram aspergidas sobre 2,5 kg de cavacos. Após tal procedimento, os mesmos foram acondicionados em sacos de polietileno durante 15 dias a temperatura de laboratório de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ (Figura 2).



Figura 1 – Solução utilizada para aspergir nos cavacos. A) Testemunha. B) *Trametes versicolor*. C) *Polyporus fumosus*. D) *Pycnoporus sanguineus*.

Fonte: Autor, 2015.



Figura 2 - Cavacos com a solução de fungos. A) Testemunha. B) *Trametes versicolor*. C) *Polyporus fumosus*. D) *Pycnoporus sanguineus*.

Fonte: Autor, 2015.

3.3 Caracterização química da madeira

Os cavacos foram transformados em serragem em moinho do tipo Willey. A serragem utilizada foi a que passou pela peneira de 40 e ficou retida na de 60 *mesh*. O material foi climatizado por 7 dias à temperatura ambiente de $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

Para análise dos teores de lignina e holocelulose nas amostras foi necessário a remoção dos extrativos. Os teores dos mesmos foram determinados de acordo com *Technical Association of the Pulp and Paper Industry - TAPPI 264 om-88 (1992)*. Depois da climatização da serragem, as amostras foram pesadas e encontrados os valores corrigidos com base na massa de serragem absolutamente seca – AS (Tabela 2).

Tabela 2 - Quantidades de serragem utilizado para determinar o teor de extrativos.

| Tratamento | | Cadinho* | Cadinho + serragem úmida* | Cadinho + serragem Seca* | Serragem úmida* | Serragem Seca* | AS** | Serragem para teor de extrativos* | Média* |
|------------------------------|----|----------|---------------------------|--------------------------|-----------------|----------------|--------|-----------------------------------|--------|
| Testemunha | 11 | 35,4802 | 36,0130 | 35,9627 | 0,5328 | 0,4825 | 0,9056 | 2,2085 | 2,2119 |
| | 12 | 36,0465 | 36,5587 | 36,5089 | 0,5122 | 0,4624 | 0,9028 | 2,2154 | |
| <i>Trametes versicolor</i> | 21 | 35,4000 | 35,9065 | 35,8578 | 0,5065 | 0,4578 | 0,9038 | 2,2128 | 2,2037 |
| | 22 | 34,866 | 34,6849 | 34,6407 | 0,4983 | 0,4541 | 0,9113 | 2,1947 | |
| <i>Polyporus fumosus</i> | 31 | 36,3527 | 36,8650 | 36,8215 | 0,5123 | 0,4688 | 0,9151 | 2,1856 | 2,1860 |
| | 32 | 35,6732 | 36,1822 | 36,1388 | 0,5090 | 0,4656 | 0,9147 | 2,1864 | |
| <i>Pycnoporus sanguineus</i> | 41 | 35,6868 | 36,1871 | 36,1456 | 0,5003 | 0,4588 | 0,9170 | 2,1809 | 2,1844 |
| | 42 | 37,3273 | 37 8336 | 37,7901 | 0,5063 | 0,4628 | 0,9141 | 2,1880 | |

* Valores em gramas.**AS – Serragem absolutamente seca.

Fonte: Autor, 2015.

Depois da pesagem as amostras foram colocadas em cadinhos e alocadas em balões para extração em 120 mL de cetona por 5 horas (Figura 3). Após esse procedimento, os balões foram dispostos em estufa à temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ para evaporação do material remanescente, durante 1 h. O resíduo retido no balão, proveniente de cada amostra foi pesado e obtido o valor de extrativo pela diferença de massa.



Figura 3 -Extração do material.

Fonte: Autor, 2015.

3.3.1 Teor de lignina

Após a extração, a serragem utilizada de cada amostra foi climatizada durante 5 dias e calculado o novo valor de AS para determinação da quantidade de serragem necessária para a análise dos teores de lignina solúvel e insolúvel (Tabela 3).

Tabela 3 - Quantidades de serragem utilizados para teor de lignina.

| Tratamento | | Cadinho * | Cadinho + serragem úmida* | Cadinho + serragem Seca* | Serragem úmida* | Serragem Seca* | AS** | Serragem para teor de extrativos* | Média* |
|------------------------------|----|-----------|---------------------------|--------------------------|-----------------|----------------|--------|-----------------------------------|--------|
| Testemunha | 11 | 35,6332 | 36,1336 | 36,0814 | 0,5004 | 0,4482 | 0,8957 | 0,3349 | 0,3338 |
| | 12 | 36,2104 | 36,7105 | 36,6615 | 0,5001 | 0,4511 | 0,9020 | 0,3326 | |
| <i>Trametes versicolor</i> | 21 | 36,3406 | 36,8405 | 36,7918 | 0,4999 | 0,4512 | 0,9026 | 0,3324 | 0,3334 |
| | 23 | 33,2838 | 33,7839 | 33,7324 | 0,5001 | 0,4486 | 0,8970 | 0,3344 | |
| <i>Polyporus fumosus</i> | 31 | 36,0726 | 36,5727 | 36,5208 | 0,5001 | 0,4482 | 0,8962 | 0,3347 | 0,3344 |
| | 32 | 36,4943 | 36,9942 | 36,9433 | 0,4999 | 0,4490 | 0,8982 | 0,3340 | |
| <i>Pycnoporus sanguineus</i> | 41 | 35,7352 | 36,2351 | 36,1854 | 0,4999 | 0,4502 | 0,9006 | 0,3331 | 0,3335 |
| | 42 | 35,7139 | 36,2139 | 36,1631 | 0,5000 | 0,4492 | 0,8984 | 0,3335 | |

* Valores em gramas. **AS – Serragem absolutamente seca.

Fonte: Autor, 2015.

À serragem foram adicionados 3 mL de ácido sulfúrico a 72% de concentração e dispostas em banho-maria durante 60 minutos para a sua digestão. Às amostras digeridas foram acrescentados 84 mL de água destilada e autoclavadas durante 1 h e 47 min. Decorrido tal período, foram filtradas e o sólido retido disposto em estufa durante 12 h, pesado e computado como lignina insolúvel. O líquido remanescente foi diluído em 1,0 L de água destilada para a análise do teor de lignina solúvel (Figura 4).



Figura 4 - Separação das ligninas insolúvel e solúvel. A) Lignina Insolúvel. B) Lignina solúvel.

Fonte: Autor, 2015.

O teor de lignina foi determinado seguindo a metodologia descrita por Gomide e Demuner (1986) e feita leitura do filtrado restante da análise em espectrofotômetro (215 - 280 nm) para determinação da lignina solúvel. O teor de lignina total foi o resultado da soma da lignina residual mais a lignina solúvel. O teor de holocelulose foi obtido por diferença [% holocelulose= 100 – (teor de extrativo + teor de lignina)].

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A média da densidade dos cavacos utilizados no tratamento foi de 430kg m^{-3} e o teor de umidade de 26% base úmida, após a aspersão da solução com os fungos ou água destilada a umidade foi para 36% base úmida. Por causa da quantidade de repetições não foi possível ter detectado diferença significativa para os valores dos componentes da madeira. A composição química da madeira degradada pode variar de acordo com as dimensões dos cavacos, da espécie florestal e principalmente dos fungos responsáveis pela degradação.

Os fungos degradaram os extrativos da madeira, tendo o *Trametes versicolor* apresentando maior capacidade degradativa (figura 5), tendo consumido 7,71% a mais em relação à testemunha (madeira não submetida ao ataque de fungos). A degradação pode ocorrer em decorrência dos degradarem os extrativos que possuem estruturas assemelhadas com a lignina (COSTA, 1993).

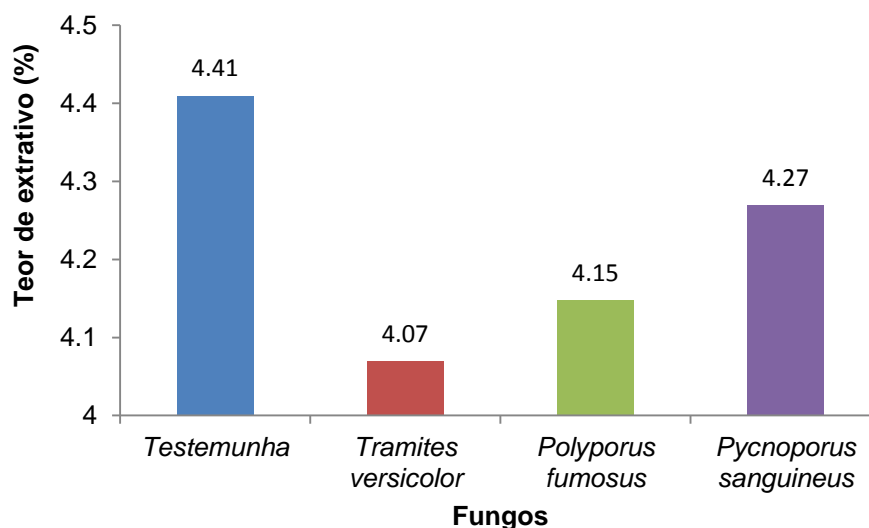


Figura 5 - Extrativos nos cavacos atacados e não atacados pelos fungos (%).

Fonte: Autor, 2015.

Dessa forma, as lignanas, neolignanas, alcaloides e alguns flavonoides, que são formados por acoplamento oxidativo de unidades fenilpropanoídicas (C_6C_3), as são semelhantes à lignina, podem ser degradadas por fungos lignolíticos (FUNASAKI, 2006).

A lignina insolúvel é mais difícil de ser quebrada, pois possui maior proporção de guaiacila. Foi observado que o fungo *Tramites versicolor* apresentou baixo efeito na degradação desse tipo de unidade, entretanto o *Pycnoporus sanguineus* atacou mais intensamente este tipo de molécula, com um aumento de 4,69% em relação a madeira não submetida aos fungos. Assim para a biopolpação este tipo microrganismo é mais adequado (Figura 6).

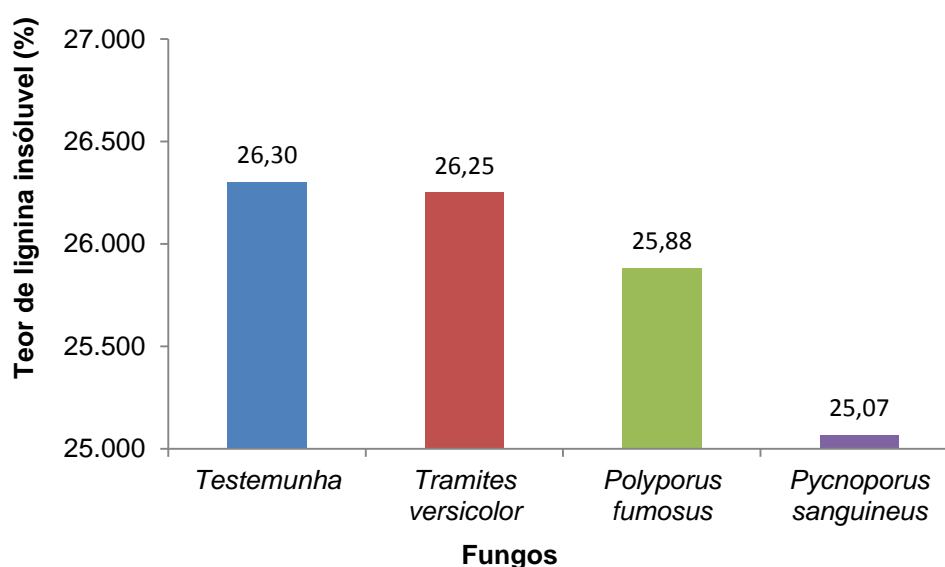


Figura 6-Teores de lignina insolúvel (%).
Fonte: Autor, 2015.

Foi observado que o fungo *Polyporus fumosus* apresentou maior poder de degradação para a lignina solúvel, com valor de 4,16% em relação à testemunha. Uma vez que as unidades de siringila são mais fáceis de serem quebradas em comparação com guaiacila (Figura 7).

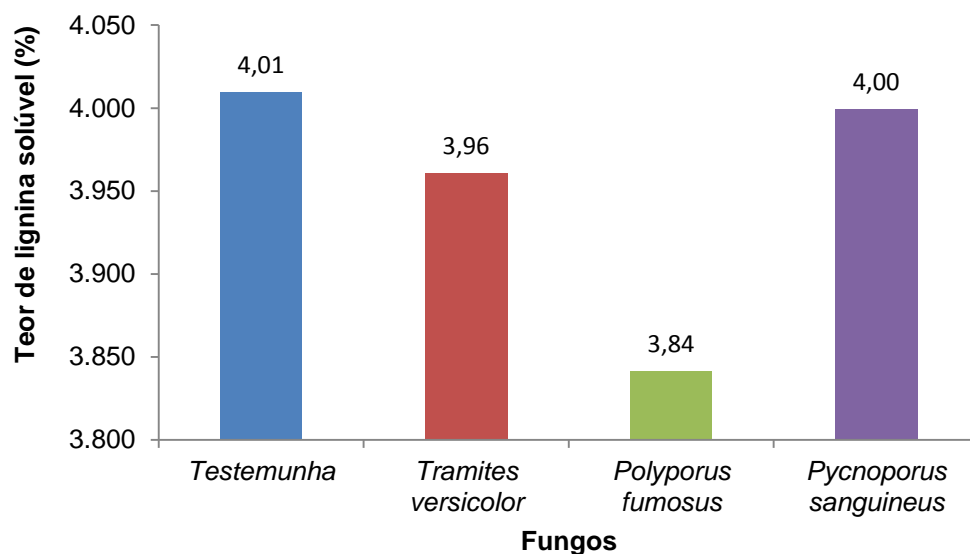


Figura 7 -Teores de lignina solúvel (%)

Fonte: Autor, 2015.

Durante os 15 dias de inoculação dos cavacos ocorreu ataque dos fungos, entretanto é necessário verificar se a quantidade de lignina degradada é viável para indústria de celulose e para diminuição de energia para realização do processo. O efeito da biopolpação na madeira de *Eucalyptus grandis* e híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, durante 30 dias, causou a descoloração dos cavacos de *E. grandis* e o fungo *Pycnopus sanguineus* aderiu à superfície dos mesmos ao contrário do *Trametes versicolor* em que este fenômeno não foi verificado, entretanto as duas espécies de fungos apresentaram capacidade de degradar a lignina (CUNHA, 2012).

Foi verificada a quantidade de teor de holocelulose presente nos cavacos após a degradação da lignina, observou-se que os cavacos degradados pelo *Pycnopus sanguíneos* tiveram maior quantidade de holocelulose em relação à testemunha, pois com a remoção de parte da lignina, gerou uma porcentagem maior de holocelulose por massa de madeira (Figura 8).

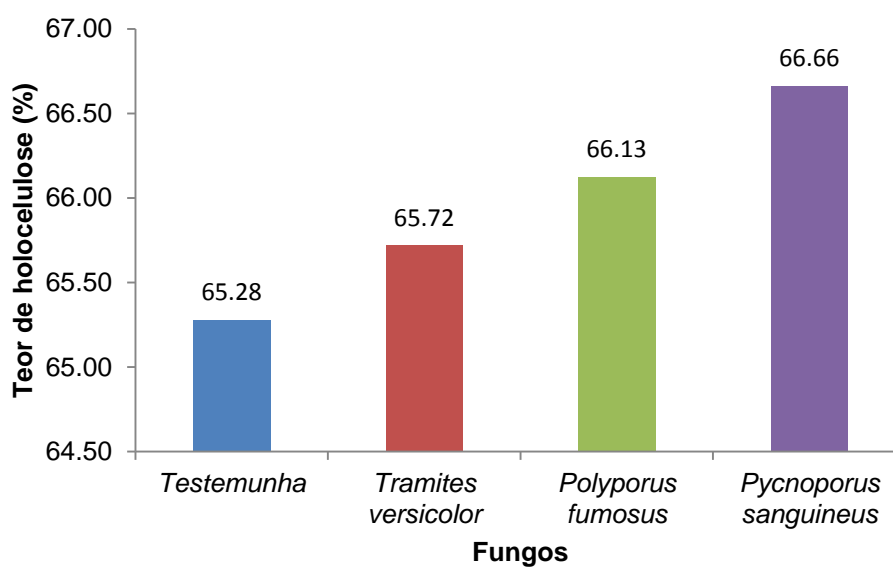


Figura 8-Teores de holocelulose (%).

Fonte: Autor, 2015.

5 CONCLUSÕES

O tempo de 15 dias foi favorável para o ataque dos fungos, contudo deve ser verificado se a biodegradação é viável para indústria de celulose e para diminuição de energia para realização do processo.

Houve baixa diminuição do teor de lignina solúvel e insolúvel da madeira. Desta forma torna-se necessário fazer avaliações com uma maior quantidade de repetições para verificar se há diferença significativa entre o ataque dos fungos.

Dentre os fungos utilizados, o *Pycnoporus sanguineus* atacou mais intensamente a lignina insolúvel, enquanto o *Polyporus fumosus* a solúvel e o *Trametes Versicolor* os extrativos.

Para biopolpação o fungo mais indicado é o *Pycnoporus sanguineus*, pois com a remoção da lignina, gerou uma porcentagem maior de holocelulose por massa de madeira.

7 REFERÊNCIAS

AGUIAR FILHO, J. M. M. **Análise enzimática de fungos lignocelulolíticos cultivados em vinhaça e bagaço de cana-de-açúcar**. 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008. Disponível em: file:///C:/Users/Meu%20Computador/Downloads/Jose_Aguiar_Filho%20(4).pdf. Acesso em: 20 abr. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 1194**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**ABNT NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Anexo B – Determinação das propriedades das madeiras para projetos de estruturas. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

BARRICHELO, L. E. G; BRITO, J.O. **A utilização da madeira na produção de celulose**. Piracicaba: Instituto de Pesquisa Florestais - IPF, 1979, 12p.(Circular Técnica, 68).Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr068.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2015.

BERTOLA, A. **Eucalipto - 100 anos de Brasil**. V&M Florestal Ltda. 2002. 91p. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf>. Acesso em: 1 maio 2015.

CALONEGO, F.W. et al. Behavior of the brown-rot fungus *Gloeophyllum trabeum* on thermally-modified *Eucalyptus grandis* wood. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n.3, p417-423, 2013. Disponível em: <<http://www.floram.org/files/v20n3/v20n3a15.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2015.

CASTRO, H. F. **Processos químicos Industriais II**. Lorena: Escola de Engenharia de Lorena. 2009. Disponível em:<<http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840556/434/apostila4papelecelulose.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2015.

CARDOSO, R. Algumas considerações sobre a monocultura do eucalipto e suas implicações.**Resumo...** Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2008. Disponível em:<<http://www.uff.br/vsinga/trabalhos/Trabalhos%20Completos/Rafae%20Said%20Bhering%20Cardoso.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2015.

CARVALHO, W. et al. Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 8, p. 2191-2195, 2009. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n8/v32n8a33.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2015

CARVALHO, D. E. et al. Resistência natural de quatro espécies florestais submetidas a ensaio com fungos apodrecedores. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n.2, p. 271-276, 2015. Disponível em:<<http://www.floram.org/files/v22n2/v22n2a15.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2015.

COSTA, A. S. **Pré-tratamento biológico de cavacos industriais de eucalipto para produção de celulose kraft**. 1992. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

CUNHA, G.G.S. **Biopolpação a partir de cultivos mistos de basidiomicetos sobre madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urograndis* (híbrido de *E. grandis* x *E. urophilla*)**. 2012. 110 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade de São Paulo: Escola de Engenharia de Lorena, Lorena, 2012. Disponível em: <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Owner/My%20Documents/Downloads/BIT12002_C.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2015.

FERRAZ, A. Desenvolvimentos da biopolpação no Brasil: biopulping developments in Brazil. **O Papel**, São Paulo, v. 68, n. 7, p. 44-53, 2007. Disponível em: <http://www.revistaopapel.org.br/noticiaanexos/1311965814_4aa6adfc2ac8569bf2a3a5dfd77195d4_2108098520.pdf>. Acesso em: 2 maio 2015.

FUNASAKI, M. **Estruturas, atividade biológica e biossíntese de metabólitos secundários de *Ocotea catharinensis* Mez. (Lauraceae)**. 2006. 147 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade São Paulo: Instituto de Química, São Paulo, 2006. Disponível: <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Owner/My%20Documents/Downloads/teseMarikoFunasaki.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2015.

GONÇALEZ, J. Q. et al. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hille x Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1912/1156>. Acesso em: 5 nov. 2015.

GOMES, A. F. **Avaliação das características da madeira e da polpa de *Eucalyptus* mediante aos métodos não destrutivos na árvore viva**. 2007. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras 2007. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/2275?mode=full>. Acesso em: 6 nov. 2015.

GOMIDE, J. L. et al. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.129-137,2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/rarv/v29n1/24242.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2015.

GOMIDE, J.L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v.47, n.8, p. 36-38, 1986.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Estatísticas da Indústria Brasileira de Árvores**. Brasília: Studio 113,2014, 100p. Disponível em: <http://www.iba.org/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em: 20 abr.2015.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Estatísticas da Indústria Brasileira de Árvores** Brasília: Studio 113,2015a. 80p. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso em: 4 nov.2015.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Estatísticas da Indústria Brasileira de Árvores**. Brasília: Studio 113, 2015b, 8p. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/Cenarios_outubro.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2015.

KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 2005. Disponível em:<<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/quimicadamadeira.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2015.

MAGATON, A.S. et al. **Estrutura anatômica e química da madeira**. Viçosa: Departamento de Engenharia Florestal, Laboratório de Celulose e Papel,2009. Disponível em:<http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/02_QuimicadaMadeira_A_Magaton.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2015.

MAGATON, A.S. Composição química da madeira de espécies de eucalipto. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 29. São Paulo. **Anais...**São Paulo:SBQ,2009. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/cd29ra/Resumos/T1908-1.pdf>>. Acesso em: 6 nov. 2015.

MORESCHI, J.C. **Biodegradação e preservação da madeira**. 3.ed.Curitiba:Universidade Federal do Paraná. 2013. Disponível em:<<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/BIODETERIORACAO.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2015.

PAVAN, P. C. **Desenvolvimento do processo de biopolpação de eucalipto em escala piloto para produção de polpas termomecânicas e quimioterme mecânicas**. 2008. 152 f. Tese (Doutor em Biotecnologia Industrial) – Universidade de São Paulo, Lorena, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97131/tde-24102012-12274.php>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

ROSA, C. A. B. **Influência do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* na produção e na qualidade da celulose kraft**. 2003. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2003. Disponível em:<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/UFSM_TESE_Claudia.pdf>. Acesso em: 2 maio 2015.

SANTANA, W. M. S. et al. Effect of age and diameter class on the properties of wood 1 from clonal *Eucalyptus*. **Cerne**. Lavras, v. 18, n. 1, p.1-8, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cerne/v18n1/01.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2015.

SALVI, M. B. **Fungos basidiomicetos em biorremediação**. São Paulo:Instituto de Botânica de São Paulo,Curso de Capacitação de Monitores e Educadores. 2011. Disponível em:<http://www.ambiente.sp.gov.br/pgibt/files/2013/04/Fungos_basidiomicetos_em_biorremediacao_Marina_Bianchini.pdf>. Acesso em: 2 maio 2015.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPERINDUSTRY (TAPPI).**Test methods T 264 om-88**:preparation of wood for chemical analysis. Atlanta: Tappi Technology Park, v.1. 1992.