

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

MURILO BORTOLINE WANDERLEY

EFICIÊNCIA DO ÓLEO DE CANDEIA (*Eremanthus erythropappus*) NA
MELHORIA DA RESISTÊNCIA DA MADEIRA DE *Pinus* sp. A FUNGOS
XILÓFAGOS

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2011

MURILO BORTOLINE WANDERLEY

EFICIÊNCIA DO ÓLEO DE CANDEIA (*Eremanthus erythropappus*) NA
MELHORIA DA RESISTÊNCIA DA MADEIRA DE *Pinus* sp. A FUNGOS
XILÓFAGOS

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade
Federal do Espírito Santo,
como requisito parcial para
obtenção do título de
Engenheiro Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2011


MURILO BORTOLINE WANDERLEY

EFICIÊNCIA DO ÓLEO DE CANDEIA (*Eremanthus erythropappus*) NA
MELHORIA DA RESISTÊNCIA DA MADEIRA DE *Pinus* sp. A FUNGOS
XILÓFAGOS

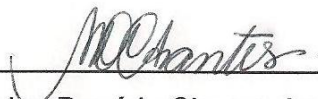
Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, como
requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro
Florestal

Aprovada em 14 de junho de 2011

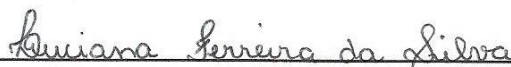
COMISSÃO EXAMINADORA



Juarez Benigno Paes
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Marina Donária Chaves Arantes
Universidade Federal do Espírito Santo



Luciana Ferreira da Silva
Universidade Federal do Espírito Santo

A meus pais, Everaldo Campos Wanderley e Virgínia Bortoline Wanderley e irmãos, Rafael Bortoline Wanderley e Beatriz Bortoline Wanderley, por serem exemplo de determinação e pela batalha para me manterem na universidade.

“Morreu Maria Preá”.

J.B. Paes

AGRADECIMENTOS

A Deus, que esteve ao meu lado em todos os momentos, indiferente de minhas escolhas, para que tudo sempre de certo.

À Universidade Federal do Espírito Santo, pela disponibilização de material e suporte para a realização deste trabalho.

À Empresa Citróleo Comércio e Indústria Ltda, pela doação do óleo de candeia utilizado na realização do experimento.

Ao professor Juarez Benigno Paes, pela amizade, paciência e disponibilidade para a orientação nesta monografia.

Aos professores do Curso de Engenharia Florestal, que de forma positiva, contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos membros da Banca Examinadora, Professora Maria Donária Chaves Arantes e a mestrandia em Ciência Florestal Luciana Ferreira da Silva, pelos comentários e sugestões. Em especial a mestrandia Luciana por ter colaborado diretamente no desenvolvimento deste e outros trabalhos.

Aos funcionários do Laboratório de Ciência da Madeira, Gilson Barbosa São Teago e José Geraldo Lima de Oliveira, que sempre estiveram disponíveis para auxiliar no necessário.

À turma da graduação e aos colegas de república.

Enfim, a todos aqueles de forma direta ou indireta colaboraram para a minha formação acadêmica e pessoal.

RESUMO

Nesta pesquisa, objetivou-se avaliar a eficiência do óleo de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish.), na melhoria da resistência da madeira *Pinus* sp. aos fungos xilófagos *Postia placenta*, *Gloeophyllum trabeum*, *Neolentinus lepdeus* e *Polyporus sanguineus* em ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório. Foram utilizados corpos-de-prova com dimensões nominais de 1,90 x 1,90 x 1,90 cm (espessura x largura x comprimento). O óleo de candeia foi aplicado sobre as superfícies das amostras com o emprego de um pincel, dando maior atenção à direção base-topo, com o intuito de atingirem retenções nominais de 15; 30; 45 e 60 kg de óleo por m³ de madeira. As amostras após tratadas, atingiram retenções médias de 16,25; 28,75; 41,50; e 53,75 kg.m⁻³, estando estas próximas as estipuladas e foram submetidas ao ensaio de laboratório, durante 12 semanas. O incremento da retenção do óleo na madeira tratada causou redução na perda de massa da madeira de *Pinus* sp. submetida aos fungos testados. Constatou-se que a retenção de 16,25 kg.m⁻³ foi capaz de inibir a degradação pelo fungo *Postia placenta* e prevenir a dos demais fungos xilófagos na madeira de *Pinus* sp. tratada com óleo de candeia. Dentre os fungos testados, o *Postia placenta* degradou com maior intensidade a madeira tratada e o fungo *Polyporus sanguineus* com menos intensidade, quando comparado aos demais fungos. O óleo de candeia conferiu melhoria na resistência de madeira de *Pinus* sp. aos fungos xilófagos testados.

Palavras-chave: Tratamento da madeira, fungos apodrecedores, ensaios biológicos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1. Estudos silviculturais relativos à candeia.....	4
3.2. O óleo de candeia.....	5
3.3. Tratamento preservativo da madeira	7
3.4. Caracterização dos fungos xilófagos	8
4. METODOLOGIA	10
4.1. Obtenção do óleo de candeia, preparo e tratamento da madeira.....	10
4.2. Ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório.....	11
4.3. Análise estatística dos resultados.....	15
5. RESULTADOS DA PESQUISA.....	16
6. CONCLUSÕES	24
7. REFERÊNCIAS.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classes de resistência da madeira a fungos xilófagos (ASTM D-2017, 2005b).....	14
Tabela 2	Perda de massa média por retenção para os fungos testados.....	16
Tabela 3	Análises de variância para a perda de massa (%) para fungos e retenções (kg.m^{-3}). Dados transformados em $\arcsen[\text{raiz}(\text{perda de massa}/100)]$	18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Corpos de prova selecionados e identificados para o ensaio.....	10
Figura 2	Fungos desenvolvidos, com os corpos de prova do experimento.....	12
Figura 3	Frascos inoculados, com os corpos de prova durante o ensaio.....	13
Figura 4	Corpos de prova sendo retirados dos frascos ensaiados.....	13
Figura 5	Corpos de prova sendo limpos para a retirada do micélio dos fungos.....	14
Figura 6	Perda de massa em função das retenções para o fungo <i>Postia placenta</i>	19
Figura 7	Perda de massa em função das retenções para o fungo <i>Neolentinus lepdeus</i>	19
Figura 8	Perda de massa em função das retenções para o fungo <i>Gloeophyllum trabeum</i>	20
Figura 9	Perda de massa em função das retenções para o fungo <i>Polyporus sanguineus</i>	21
Figura 10	Perda de massa média em função das retenções para todos os fungos testados.....	22
Figura 11	Perda de massa média em função das retenções para os fungos testados, sem o efeito do fungo <i>Polyporus sanguineus</i>	22

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor florestal possui grande importância na perspectiva econômica, social e ambiental. As características climáticas e as dimensões do território brasileiro, não apenas possibilitam, mas também propiciam a implantação de florestas plantadas e a exploração racional das nativas, por meio de manejo sustentável.

De acordo com Valverde et al. (2005), as qualidades naturais favoráveis, incorporadas ao desenvolvimento tecnológico avançado da silvicultura e condições privilegiadas, como localização geográfica, infraestrutura, logística de transporte e diversificação de plantas industriais, permitem um elevado potencial de crescimento da atividade florestal no Brasil, o que lhe assegura um papel de significativa importância no setor.

A demanda brasileira e mundial de produtos madeireiros, e a escassez de madeira proveniente de reflorestamento com boa qualidade para serraria, indústria moveleira, vêm causando grande pressão sobre as florestas nativas. Este fato estimula a plantação de gêneros como o *Eucalyptus* e *Pinus*. Porém existem alternativas de plantio de árvores nativas, com boa produção e baixa necessidade de tratamentos culturais.

A madeira da maioria das espécies de *Pinus* e *Eucalyptus* é susceptível ao ataque de organismos deterioradores, necessitando de tratamento químico que lhe forneça proteção contra fungos e insetos xilófagos, brocas e cupins, o que, conseqüentemente, aumenta sua vida útil. Para este fim, são utilizados, comumente, produtos químicos que se fixam na madeira, tornando-a mais resistente à ação desses agentes biológicos. Entretanto, os produtos empregados na melhoria da resistência da madeira possuem um grau de toxicidade ao ser humano e ao ambiente, fato que restringe a madeira imunizada para certos usos, como o residencial (Paes. et. al., 2010).

A madeira é um material orgânico e sujeita a grandes variações, dentro de uma mesma árvore, entre indivíduos e entre espécies. A qualidade preservativa da madeira está relacionada a uma série de fatores, como o teor de extrativos, densidade, teor de cinzas e substâncias voláteis (PAES; MORAIS; LIMA, 2005).

Os efeitos do ataque dos agentes deterioradores de madeira se manifestam pelas alterações da composição química, redução da resistência mecânica,

diminuição da massa, modificação da cor natural, aumento da permeabilidade, redução da capacidade acústica, aumento da inflamabilidade, diminuição do poder calorífico e maior propensão ao ataque de certos insetos (VALLE, 2009).

A candeia é uma alternativa às culturas exóticas já estabelecidas no País, pois possui características que viabilizam seu plantio com boa produtividade, gerando emprego e renda. É uma espécie da família Asteraceae, sendo considerada precursora na colonização de campos por desenvolver rapidamente em campos abertos, formando povoamentos parcialmente puros (SCOLFORO et al., 2008).

Existem várias espécies de candeia, que se desenvolvem em sítios com solos pouco férteis, rasos e, predominantemente em áreas de campos de altitude variando entre 900 e 1.700 m. As espécies de maior importância econômica e que mais ocorrem em Minas Gerais a *Eremanthus incanus* (Less.), utilizada para moirões, por apresentar menor teor de óleo, e a *Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish., espécie de múltiplos usos, sendo sua madeira mais utilizada como moirão de cerca e para a produção de óleo essencial, cujo principal componente, o alfabisabolol, possui propriedades antiflogísticas, antibacterianas, antimicóticas, dermatológicas e espasmódicas (SCOLFORO et al., 2002).

O óleo de candeia possui propriedades que possibilitam o tratamento de madeiras, visando à melhoria na resistência ao ataque de organismos xilófagos. Ensaio biológico realizado por Paes et al. (2010), demonstraram a eficiência do óleo na melhoria da qualidade da madeira de sumaúma (*Ceiba pentandra*) na resistência ao ataque de cupins xilófagos. Não foram encontrados trabalhos relacionados à melhoria da resistência da madeira impregnada com o óleo de candeia contra o ataque de fungos xilófagos, o que demonstra a necessidade do presente estudo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Avaliar a eficiência do óleo de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish.), na melhoria da resistência da madeira de *Pinus* sp a fungos xilófagos em condições de laboratório.

1.2.2. Objetivos específicos

- Analisar a potencialidade de fungos causadores de podridão parda e branca em deteriorar a madeira de *Pinus* sp. tratada com óleo de candeia;
- Testar efeito do incremento da retenção do óleo de candeia na melhoria da resistência da madeira de *Pinus* sp. a fungos xilófagos;
- Averiguar qual a retenção de óleo de candeia é capaz de inibir o ataque de fungos xilófagos a madeira de *Pinus* sp. tratada; e
- Verificar dentre os fungos testados (*Postia placenta*, *Gloeophyllum trabeum*, *Neolentinus lepdeus* e *Polyporus sanguineus*) aquele que apresenta maior capacidade de deterioração da madeira de *Pinus* sp. tratada com óleo de candeia.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Estudos silviculturais relativos à candeia

A candeia surge no setor florestal brasileiro como uma oportunidade de gerar renda em áreas antes degradadas ou sem perspectivas de rentabilidade econômica. É uma espécie de ecotóno, típica das áreas de transição entre a mata e os campos abertos (cerrado e campos de altitude). Embora apresente várias características das espécies pioneiras, como produção de grande quantidade de sementes, dispersas pelo vento e alta densidade de regeneração natural quando há presença de clareiras, ela não deve ser enquadrada como tal, já que seu tempo de vida pode ultrapassar 50 anos (SCOLFORO et al., 2008).

Ainda de acordo com os mesmos autores, *Eremanthus erythropappus* se desenvolve, predominantemente, em áreas de campos de altitude, desenvolvendo-se em sítios com solos pouco férteis, rasos e em áreas com altitude superior a 800 metros, locais em que seria difícil a implantação de culturas agrícolas ou mesmo de outras espécies florestais.

Os produtos obtidos da candeia *Eremanthus erythropappus* alcançam preços relativamente altos no mercado. Os produtores rurais pagam de R\$ 80,00 a R\$ 120,00 pela dúzia de moirões. Já as indústrias que extraem o óleo essencial pagam em torno de R\$110,00 pelo metro estéreo de madeira colocada na beira da estrada. O óleo de candeia natural bruto e o alfabisabolol são comercializados nos mercados nacionais e internacionais, por US\$ 40 e US\$90 por quilo, respectivamente (SCOLFORO et al., 2008).

Existe a necessidade de observar os aspectos silviculturais da candeia, visto que eles têm efeito direto sobre a produção da madeira. Scolforo et al. (2002) definiram que os espaçamentos utilizados para candeia, sejam de 3,0 x 1,0; 3,0 x 1,5 ou 3,0 x 2,0 metros, para plantios em que o preparo mecanizado do solo seja possível de ser efetuado. Nas áreas em que só é possível o coveamento, podem-se adotar os espaçamentos de 2,0 x 1,5; 2,0 x 2,0 ou 2,0 x 2,5 metros, adotando-se o procedimento de espaçamentos menores nos piores solos. Os estudos relativos ao espaçamento para candeia estão em fase iniciais e ainda não permitem a recomendação segura de espaçamentos, entretanto podem ser com base em

experimento realizado com outras espécies nativas. Do mesmo modo a desrama, podendo ser utilizada para a formação de um fuste mais apropriado e maior produção do óleo, havendo sempre o paradoxo da produção e do custo de produção.

Com relação à viabilidade da produção da candeia, é inerente ressaltar o potencial econômico da candeia em plantios. Conforme os mesmos autores, um plantio em espaçamento 3,0 x 1,5m, pode ter sua idade prevista de corte de 7 anos. Nota-se que, vendendo a madeira a R\$ 70,00/st, obtém-se uma renda total de R\$ 5.167,92/ha, caso o DAP esperado aos 7 anos de idade for de 7,37 cm. Nestas condições, a Taxa Interna de Retorno (TIR) será de 28,9% e o Valor Presente Líquido (VPL) variará de R\$ 622,98 a R\$ 2.194,81/ha, dependendo da taxa de juros considerada. Caso o DAP esperado seja de 12,36 cm, a renda aumenta para R\$ 12.467,00/ha, a TIR para 44,7% e o VPL para a faixa de R\$ 2.418,12 a R\$ 7.524,20/ha.

Os estudos relacionados à candeia, demonstraram que há viabilidade técnica e econômica para a introdução desta cultura na cadeia produtiva madeireira. Entretanto, as informações sobre tratamentos culturais ainda não são conclusivas, apesar das boas possibilidades do emprego dos produtos oriundos da exploração das espécies de candeia.

3.2. O óleo de candeia

A candeia possui múltiplos usos, porém sua madeira é mais utilizada como moirão para cerca pela sua durabilidade, e para a produção de óleo essencial, cujo componente, o alfabisabolol, possui propriedades antiflogísticas, antimicóticas, dermatológicas e espasmódicas, com grande aplicação na indústria de cosméticos (SCOLFORO et al., 2008).

De acordo com Santos et al. (2008), existem inúmeras possibilidades de associação da madeira ou de resíduo da madeira de candeia, com *Eucalyptus* ou *Pinus* para a produção de painéis, contudo deve ser observada a presença de substâncias como fenóis, ácidos e açúcares, que podem dificultar o processo. Os autores demonstraram que o aproveitamento do resíduo da madeira de candeia, após a extração do óleo, é uma das alternativas para a produção de painéis particulados, no caso citado, painéis de cimento madeira.

Um dos usos mais importantes da candeia é para a produção do óleo essencial e por meio dele a obtenção do alfabisolol, o qual possui eficiência comprovada na indústria farmacêutica, quanto as suas propriedades antibacterianas e antimicóticas. Os extratos das folhas de candeia são efetivos no controle de ferrugens tanto quanto o óleo essencial retirado do lenho, fato que demonstra a possibilidade de extração de componente de partes menos nobres da árvore (SALUSTIANO et al., 2006).

Em 2008, no Brasil, existiam sete indústrias de óleo de candeia natural bruto, sendo duas em São Paulo, três em Minas Gerais, uma na Bahia e uma no Paraná. Já o alfabisolol, obtido a partir da destilação do óleo de candeia bruto, era produzido apenas por três indústrias brasileiras que o vendem para indústrias farmacêuticas, para a produção de cremes, protetor solar, batom, entre outros (SCOLFORO et al., 2008).

De acordo com estudos produzidos por Paes et al. (2010) com cupins xilófagos, o óleo de candeia (*Eremanthus erythropappus*), nas retenções de 10,00 kg.m⁻³ (ensaio de alimentação forçada) e 37,21 kg.m⁻³ (ensaio de preferência alimentar) foi suficiente para melhorar a resistência da madeira de sumaúma (*Ceiba pentandra*), inibindo o ataque de cupins.

Ainda segundo os mesmos autores, nas retenções de 16,57 kg.m⁻³ (ensaio de alimentação forçada) e de 58,22 kg.m⁻³ (ensaio de preferência alimentar), o óleo de candeia preveniu o ataque da madeira testada, inviabilizando o acesso dos cupins a fonte de alimento.

Paes et al. (2010) afirmaram que para moirões, o tratamento com o óleo de candeia, é inviável em função do custo do produto. No entanto, seria viável para madeiras a serem empregadas em serrarias, como móveis e estruturas diversas. Os produtos comumente utilizados para o tratamento preservativo de madeiras possuem alto grau de toxicidade. O óleo de candeia, entretanto, pode ser utilizado para a preservação de madeira no uso doméstico sem maiores restrições por apresentar baixa toxicidade ao ser humano e ao ambiente.

Para o controle de fungos xilófagos não foram encontradas referências da utilização do óleo de candeia, fato que ressalta a necessidade de estudos nessa área.

3.3. Tratamento preservativo da madeira

O ataque de fungos ainda é motivo de grande preocupação por parte dos produtores e consumidores da madeira *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp., pois estas madeiras possuem uma baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos.

A porção da madeira do tronco com células de parênquima vivas é a porção mais externa que é chamada de alburno. O número de anos que as células de parênquima vivem e a largura da faixa de alburno varia de espécie para espécie. As células de parênquima eventualmente morrem e este evento marca a transformação do alburno em cerne.

Costa et al. (2003) definiram o alburno como células funcionais, de coloração mais clara, responsáveis pela condução de água e solutos nela dissolvidos. Quando se tornam inativas para o transporte de água, as células do alburno passam a constituir o cerne, que pode conter óleos, resinas, gomas e, ou, compostos fenólicos, substâncias que são frequentemente responsáveis pela sua coloração mais escura e maior durabilidade natural.

Segundo Siau (1995), o alburno como regra geral, pode ser impregnado com substâncias preservativas, com relativa facilidade, enquanto o cerne é resistente à penetração dessas substâncias. Os materiais naturalmente presentes no cerne podem endurecer ou se solidificar, obstruindo as pontuações ou aberturas dos vasos e canais resiníferos; nesse caso, o movimento dos preservativos é diminuído ou totalmente inibido.

Segundo Farias Sobrinho (2003), a durabilidade pode ser melhorada por meio da adição de produtos e tratamentos, que lhes proporcionem uma maior durabilidade, protegendo, assim, os recursos florestais, o que é de fundamental importância ecológica e econômica, pois o alívio da pressão sobre as florestas remanescentes permite a formação de madeiras com maior dimensão, que podem ser utilizadas para produtos serrados.

No do setor florestal, o consumo de madeira preservada vem ganhando espaço por causa da legislação vigente no país, que reduz a possibilidade de exploração de madeiras nativas, e da baixa resistência apresentada pelas madeiras plantadas, como o *Eucalyptus* e *Pinus*. Contudo, de acordo com Silva (2006), no Brasil o consumo de madeira preservada é irrelevante quando comparado aos Estados Unidos. Em 2005, a capacidade instalada do setor de preservação de

madeiras no Brasil, era de 1,6 milhão de metros cúbicos por ano, mas a produção efetiva não ultrapassava 900 mil metros cúbicos. A maior parte da produção foi destinada ao agronegócio, seguida do setor elétrico, ferroviário e, em menor escala, do setor mobiliário, construções e embalagens. No mesmo período, a produção americana ultrapassou 17 milhões de metros cúbicos, concentrando mais de 70% da madeira tratada no segmento de construção civil.

De acordo com Valle (2009), apesar do reconhecimento da importância de se fazer o tratamento preservativo da madeira, principalmente daquelas oriundas de reflorestamentos, como *Eucalyptus* e *Pinus*, ainda são escassos no Brasil, trabalhos de pesquisa referentes à retenção e penetração dos preservativos nessas madeiras.

3.4. Caracterização dos fungos xilófagos

Uma das principais propriedades das madeiras é a sua maior ou menor suscetibilidade em ser atacada por organismos xilófagos, dentre estes, destacam-se os fungos apodrecedores. Madeiras que apresentam elevada durabilidade natural a esses organismos podem ser destacadas por um alto grau de nobreza, conferindo-lhes um amplo espectro de utilização e, conseqüentemente, tornando-as mais valorizadas no mercado. Sabe-se que o grau de resistência aos agentes biológicos é muito variável entre as madeiras, sendo um grande número destas caracterizadas por apresentarem elevada resistência ao ataque de insetos e de fungos apodrecedores (OLIVEIRA et al., 2005).

Os efeitos de ataque dos agentes deterioradores de madeira se manifestam pelas alterações da composição química, redução da resistência mecânica, diminuição da massa, modificação da cor natural, aumento da permeabilidade, redução da capacidade acústica, aumento da inflamabilidade, diminuição do poder calorífico e maior propensão ao ataque de certos insetos (VALLE, 2009).

Entre os fungos responsáveis pelo apodrecimento da madeira, destaca-se a classe dos basidiomicetos, na qual se encontram os fungos responsáveis pela podridão parda e pela podridão branca, que possuem características enzimáticas próprias, quanto à decomposição dos constituintes primários da madeira. Os primeiros decompõem os polissacarídeos da parede celular, e a madeira atacada apresenta uma coloração residual pardacenta. Os últimos atacam, indistintamente,

tanto os polissacarídeos quanto a lignina (OLIVEIRA et al., 2005) e a madeira adquire uma coloração clara e sem brilho.

Os fungos xilófagos são os organismos responsáveis pelas maiores perdas causadas a estruturas de madeira, como postes, dormentes, moirões e outras. Para avaliar a resistência natural da madeira a fungos, são necessários testes acelerados em laboratório, nos quais amostras de madeira são expostas aos fungos xilófagos causadores das podridões branca ou parda (PAES; MORAIS; LIMA, 2005).

4. METODOLOGIA

4.1. Obtenção do óleo de candeia, preparo e tratamento da madeira

O óleo utilizado para o tratamento dos corpos de prova foi cedido pela indústria Citróleo Comércio e Indústria Ltda, situada em Carrancas – MG (latitude 21° 29' 16" S, longitude 44° 38'34" W e altitude de 1.060 m).

A madeira utilizada para os ensaio foi de *Pinus* sp., obtida em forma de tábuas de 3 cm de espessura, 30 cm de largura e comprimento de 2 metros, no comercio do município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, em função da sua baixa resistência a fungos xilófagos. A madeira foi transformada em corpos de prova de dimensões apropriadas para o teste biológico.

Para realização do ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório, foram seguidas as recomendações da American Society for Testing and Materials, ASTM D - 1413 (2005a). Assim, foram confeccionadas 10 amostras cúbicas de 1,9 cm de aresta, para cada tratamento (fungo/retenção).

Foram descartados os corpos de prova que apresentaram defeitos, e os selecionados para o ensaio, foram lixados e identificados em função do fungo e da retenção empregada (Figura 1).



Figura 1 - Corpos de prova selecionados e identificados para o ensaio.

Fonte: Autor

As amostras selecionadas foram secas em estufa a 103 ± 2 °C, até atingirem massa constante. A massa seca e volume foram obtidos conforme recomendado pela ASTM D - 1413 (2005a), pelo método de imersão em mercúrio. Estes valores foram utilizados no cálculo da retenção do óleo de candeia na madeira e da perda de massa causada pelos fungos.

Para efetuar o tratamento da madeira com a substância preservativa, foi usado um pincel para aplicar o óleo sobre toda à superfície da amostra, com maior aplicação na direção base-topo. A porção de produto utilizado na impregnação de cada amostra variou de 0,10 a 0,35 gramas, correspondendo de 15 a 60 kg de substância preservativa por m^3 de madeira em cada amostra.

Após o tratamento, as amostras foram agrupadas em função da retenção atingida, em quatro classes de retenção nominal (15, 30, 45 e 60 $kg.m^{-3}$). A retenção foi determinada ao dividir a diferença de massa dos corpos de prova (antes e depois de tratados) pelo volume inicial dos mesmos, seguindo a recomendação da ASTM D-1413 (2005a).

4.2. Ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório

As amostras tratadas tiveram suas superfícies secas com papel toalha, determinada sua retenção, e submetidas ao ensaio biológico, seguindo recomendações da ASTM D-1413 (2005a).

Para o ensaio, foram selecionados fungos de podridão parda e branca, que possuem conhecidas características de degradação da madeira. Os fungos de podridão parda foram *Postia placenta* ((Fr.) M. J. Lars. e Lomb.), *Gloeophyllum trabeum* ((Fr.) Mur.) e *Neolentinus lepdeus* ((Fr.) Redhead e Ginns) e o fungo de podridão branca o *Polyporus sanguineus* ((Fr.) Mur.).

Para a elaboração do ensaio foram coletados 90 kg de solo nos entornos do Departamento de Engenharia Florestal (DEF), localizado no município de Jerônimo Monteiro. Este solo foi amostrado, e determinados seu pH, umidade e capacidade de retenção de água, conforme recomendações da ASTM D-1413 (2005a). A umidade do solo utilizado como substrato para preenchimento dos frascos foi ajustada para 130% da sua capacidade de retenção de água.

Os frascos foram preenchidos com 300 g de solo, cuja umidade foi ajustada pela adição de 101 mL de água destilada e adicionados dois alimentadores de

madeira de *Pinus* sp.. e esterilizados em autoclave na temperatura de 121 °C durante 30 minutos. Após o resfriamento dos fracos, foram inoculadas as culturas fúngicas, em uma câmara de fluxo laminar, para reduzir o risco de contaminações.

Depois de inoculados, e as culturas fúngicas estarem bem desenvolvidas, os corpos de prova, previamente esterilizados, sob as mesmas condições descritas, foram adicionados à razão de duas amostras por frasco (Figura 2).



Figura 2 - Fungos desenvolvidos, com os corpos de prova do experimento.

Fonte: Autor

Os frascos foram mantidos em sala climatizada ($27 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa), Figura 3. Foram preparados frascos de forma semelhantes, porem não inoculados com fungos, para avaliação da perda de massa operacional.

Os frascos foram mantidos no ensaio por 12 semanas, conforme descrito pela ASTM D-1413 (2005). Após o ensaio, as amostras foram limpas com uma escova de cerdas macias, para a retirada do micélio desenvolvido nas amostras (Figuras 4 e 5). Os corpos de prova foram levados à estufa $103 \pm 2^\circ\text{C}$ por 48 horas, e posteriormente tiveram suas massas determinadas.



Figura 3 - Frascos inoculados, com os corpos de prova durante o ensaio.

Fonte: Autor



Figura 4 - Corpos de prova sendo retirados dos frascos ensaiados.

Fonte: Autor



Figura 5 - Corpos de prova sendo limpos para a retirada do micélio dos fungos.

Fonte: Autor

De posse dos dados de massa dos corpos de prova, anteriores e posteriores ao ensaio, foi calculada a perda de massa. Contudo, é possível a perda de massa por diversos fatores além da degradação causada pelo fungo. Para tanto, utilizaram-se os valores de perda de massa operacional para a correção dos dados, seguindo as recomendações da ASTM D-1413 (2005a). Com a correção, foram encontrando valores mais precisos, garantindo que a porcentagem da perda de massa observada nas amostras seja causada pelo ataque dos fungos xilófagos, e não por causa de outros fatores operacionais. Para avaliar a qualidade da resistência a deterioração da madeira, foi empregada a ASTM D-2017 (2005b), Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de resistência da madeira a fungos xilófagos

Classes de Resistência	Perda de Massa (%)	Massa Residual (%)
Altamente resistente	0 - 10	90 – 100
Resistente	11 - 24	76- 89
Moderadamente Resistente	25 - 44	56 – 75
Não resistente ou Perecível	> 45	> 55

Fonte: ASTM D-2017, 2005b

4.3. Análise estatística dos resultados

Para a análise dos resultados, foi empregado um delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial, em que foram analisados os efeitos dos fatores retenção (cinco níveis) e fungos (quatro níveis) e a interação entre os fatores, totalizando 200 repetições.

Para possibilitar a análise estatística, os dados foram transformados em $\arcsen[\text{raiz}(\text{perda de massa}/100)]$, conforme descrito por Stell e Torrie (1980). Tal transformação foi necessária para permitir a homocedasticidade das variâncias. Na análise e avaliação dos ensaios foi empregado o teste de F para avaliar a significância.

Com o emprego de um “software” estatístico, foi gerada uma tabela de relação da perda de massa média por retenção de óleo de candeia para os fungos *Postia placenta*, *Neolentinus lepdeus*, *Gloeophyllum trabeum* e *Polyporus sanguineus*. Foram gerados gráficos para verificar a correlação entre a retenção e a perda de massa causada pelos fungos testados.

5. RESULTADOS DA PESQUISA

A média encontrada para os volumes das amostras, com o método de imersão em mercúrio, foi de 5,82 cm³, a média para a massa anidra foi 1,89 gramas e a média da densidade anidra foi 0,32 g.cm⁻³.

As retenções em kg de óleo por m³ de madeira obtidas foram próximas às retenções nominais propostas para a realização dos ensaios. Os valores encontrados constam da Tabela 2.

Tabela 2 - Perda de massa média (%) por retenção (kg.m⁻³) para os fungos testados

Retenção (kg.m ⁻³)	Perda de Massa Média (%)				Média fungos
	<i>Postia Placenta</i>	<i>Neolentinus Lepdeus</i>	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<i>Polyporus sanguineus</i>	
0,00 ± 0,00	54,03 ± 5,41	39,52 ± 8,29	33,55 ± 15,25	10,94 ± 4,27	34,51 ± 17,91
16,25 ± 2,92	24,76 ± 8,79	3,30 ± 1,36	0,83 ± 0,88	3,43 ± 0,90	8,08 ± 11,19
28,75 ± 3,01	25,40 ± 6,99	5,65 ± 4,36	1,59 ± 1,86	2,91 ± 1,15	8,89 ± 11,14
41,50 ± 2,95	7,36 ± 4,48	0,67 ± 1,03	1,49 ± 1,10	1,05 ± 1,49	2,64 ± 3,16
53,75 ± 3,83	1,94 ± 2,16	1,20 ± 1,54	1,75 ± 1,76	1,83 ± 1,94	1,68 ± 0,33

Fonte : Autor

Para o *Postia placenta* (Tabela 2) foi observado, na retenção de 16,25 kg.m⁻³, um decréscimo na perda de massa da madeira de *Pinus* sp. de 29,27% em relação a testemunha, este valor representa um acréscimo na melhoria da resistência da madeira de 54,17%. Na retenção de 28,75 kg.m⁻³ foi observado um decréscimo de 28,63%, representando uma melhoria de 52,99% na resistência. Para a retenção de kg.m⁻³, a perda de massa foi reduzida de 46,67%, representando uma melhoria na resistência da madeira de 86,38%. Na retenção de 53,75 kg.m⁻³, houve um decréscimo de 52,09% na perda de massa, representando 96,41% de melhoria na resistência da madeira ao fungo testado.

Observou-se, para o fungo *Neolentinus lepdeus* (Tabela 2), retenção de 16,25 kg.m⁻³, um decréscimo do ataque do fungo de 36,22% quando comparado à testemunha, este valor representou um acréscimo de 91,65% na resistência da madeira. Na retenção de 28,75 kg.m⁻³, ocorreu uma diminuição da degradação de 33,87%, frente à testemunha, representando um aumento de 85,70% na resistência da madeira. Para a retenção de 41,5 kg.m⁻³, a perda de massa foi reduzida de

38,85%, o que representou uma melhoria na resistência da madeira de 98,30%. Na retenção de 53,75 kg.m⁻³, houve um decréscimo de 38,32% na perda de massa, representando 96,96% de melhoria na resistência da madeira.

No ensaio com o fungo *Gloeophyllum trabeum* (Tabela 2) foi observado, na retenção de 16,25 kg.m⁻³, uma redução na perda de massa da madeira de *Pinus* sp. de 32,72% em relação a testemunha, este valor representou um acréscimo na melhoria da resistência da madeira de 97,53%. Na retenção de 28,75 kg.m⁻³ foi observado um decréscimo de 31,96%, representando uma melhora de 95,26% na resistência. Para a retenção de 41,5 kg.m⁻³, a perda de massa foi reduzida de 32,06%, representando uma melhoria na resistência da madeira de 95,56%. Na retenção de 53,75 kg.m⁻³, houve um decréscimo de 31,80% na perda de massa, representando 94,78% de melhoria na resistência da madeira.

Para o fungo *Polyporus sanguineus* (Tabela 2), na retenção de 16,25 kg.m⁻³, houve a redução do ataque do fungo de 7,51% quando comparado à testemunha, este valor representou um acréscimo de 68,65% na resistência da madeira. Na retenção de 28,75 kg.m⁻³, ocorreu uma diminuição da degradação de 8,03%, frente à testemunha, representando um aumento de 73,40% na resistência. Para a retenção de 41,50 kg.m⁻³, a perda de massa foi reduzida na ordem de 9,89%, o que representou uma melhoria na resistência da madeira de 90,40%. Na retenção de 53,75 kg.m⁻³, houve um decréscimo de 9,11% na perda de massa, representando 83,27% de melhoria na resistência da madeira ao fungo.

Os valores encontrados para a média dos fungos demonstraram que na retenção de 16,25 kg.m⁻³, ocorreu um decréscimo do ataque de 26,43% quando comparado à testemunha, este valor representou um acréscimo de 76,59% na resistência da madeira. Na retenção de 28,75 kg.m⁻³, ocorreu uma diminuição da degradação de 25,62%, quando comparado à testemunha, representando um aumento de 74,24 % na resistência da madeira. Para a retenção de 41,5 kg.m⁻³, a perda de massa foi reduzida de 31,87%, o que representou uma melhoria na resistência da madeira de 92,35%. Na retenção de 53,75 kg.m⁻³, houve um decréscimo de 32,83% na perda de massa, representando 95,13% de melhoria na resistência da madeira.

Levando em consideração os valores estipulados pela ASTM D-2017(2005b), e a deterioração provocada pelo fungo *Postia placenta*, que causou uma maior perda de massa na madeira, retenções da ordem de 41,50 ± 2,95 kg.m⁻³, foram

suficientes para classificar a madeira de *Pinus* sp. Tratada, como altamente resistente a fungos em nível de laboratório. Ressalta-se que a madeira de *Pinus* sp. não tratada é de reconhecida baixa durabilidade natural, tendo uma perda de massa da ordem de $54,03 \pm 5,41 \text{ kg.m}^{-3}$, sendo classificada como não resistente a deterioração causada pelo fungo citado (ASTM D-2017, 2005b).

A análise de variância para a perda de massa (%) causada pelos fungos em cada retenção consta na Tabela 3. Observa-se que o efeito dos fungos, das retenções e a interação entre fungos e retenções foram significativos a 1% de significância.

Em função dos valores de retenção serem quantitativos, os mesmos foram analisados por meio de gráficos de dispersão e coeficiente de correlação. Os efeitos das retenções na perda de massa causada para cada fungo são apresentados nas Figuras 6 a 9. Na Figura 10 constam os efeitos das retenções na média da perda de massa para os fungos analisados e na Figura 11, tais efeitos para a média de perda de massa para os três fungos que apresentaram maior deterioração na madeira.

Tabela 3 - Análises de variância para a perda de massa (%) para fungos e retenções (kg.m^{-3}). Dados transformados em $\arcsen[\text{raiz}(\text{perda de massa}/100)]$

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado médio	F
Fungos	3	2,31	0,77	113,88**
Retenções	4	6,39	1,60	236,61**
Fungo x Retenção	12	1,40	0,12	17,25**
Resíduo	180	1,21	$0,67 \times 10^{-2}$	
Total	199	11,31		

** Significativo a 1% de significância. Fonte : Autor

Na Figura 6, é evidenciado que houve um decréscimo na perda de massa da madeira de *Pinus* sp. a partir da retenção $41,50 \pm 2,95 \text{ kg.m}^{-3}$, a ASTM D- 2017 (2005b) classifica a madeira como altamente resistente ao ataque do fungo *Postia placenta* para esta retenção. Entre as retenções $16,25 \pm 2,92 \text{ kg.m}^{-3}$ e $28,75 \pm 3,01 \text{ kg.m}^{-3}$, a madeira foi classificada como sendo moderadamente resistente. No entanto para a testemunha (retenção $0,00 \text{ kg.m}^{-3}$) observou-se que a degradação causada pelo fungo foi intensa, classificando a madeira como não resistente (ASTM D-2017, 2005b), Tabela 1.

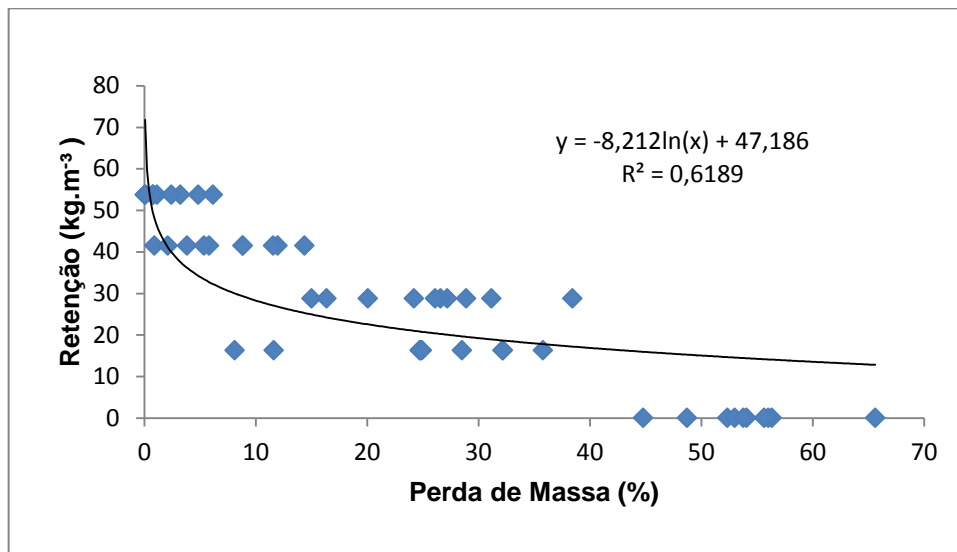


Figura 6 - Perda de massa em função das retenções para o fungo *Postia placenta*.

Fonte : Autor

Observa-se, na Figura 7, a ocorrência de um decréscimo na perda de massa da madeira de *Pinus* sp. a partir da retenção $16,25 \pm 2,92$ kg.m⁻³, sendo a madeira classificada como altamente resistente ao ataque do fungo *Neolentinus lepdeus* ASTM D- 2017 (2005b), Tabela 1.

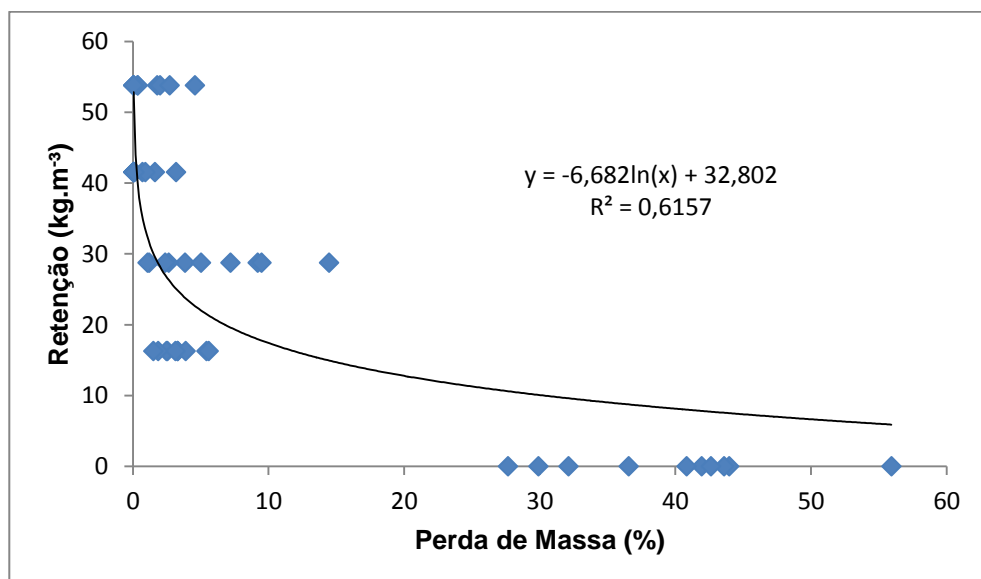


Figura 7 - Perda de massa em função das retenções para o fungo *Neolentinus lepdeus*.

Fonte : Autor

Nota-se na Figura 8, a ocorrência de uma redução na perda de massa da madeira de *Pinus* sp. na retenção de $16,25 \pm 2,92 \text{ kg.m}^{-3}$, sendo a madeira classificada como altamente resistente ao ataque do fungo *Gloeophyllum trabeum* ASTM D- 2017 (2005b), Tabela 1.

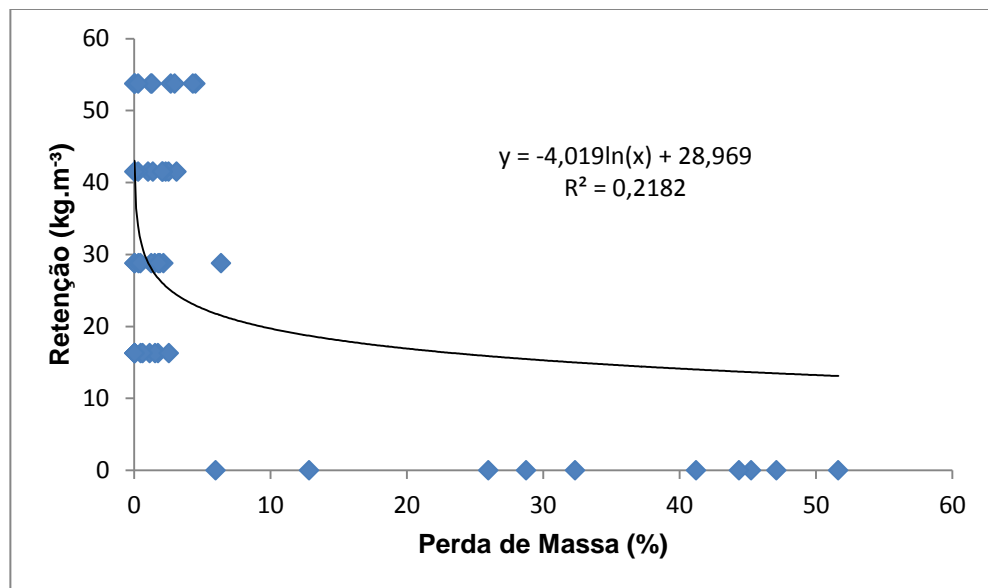


Figura 8 - Perda de massa em função das retenções para o fungo *Gloeophyllum trabeum*.

Fonte : Autor

Para o ensaio com o fungo *Polyporus sanguineus* (Figura 9) obteve-se uma baixa deterioração da madeira de *Pinus* sp., quando comparada aos demais fungos pesquisados. Os valores de perda massa da madeira, encontrados, possibilitaram que a madeira fosse classificada como resistente ao ataque do fungo, pois mesmo para as testemunhas (retenção $0,00 \text{ kg.m}^{-3}$) obteve-se uma perda de massa inferior a 24 %. Entretanto, ocorreu uma redução significativa na perda de massa da madeira a partir da retenção de $16,25 \pm 2,92 \text{ kg.m}^{-3}$.

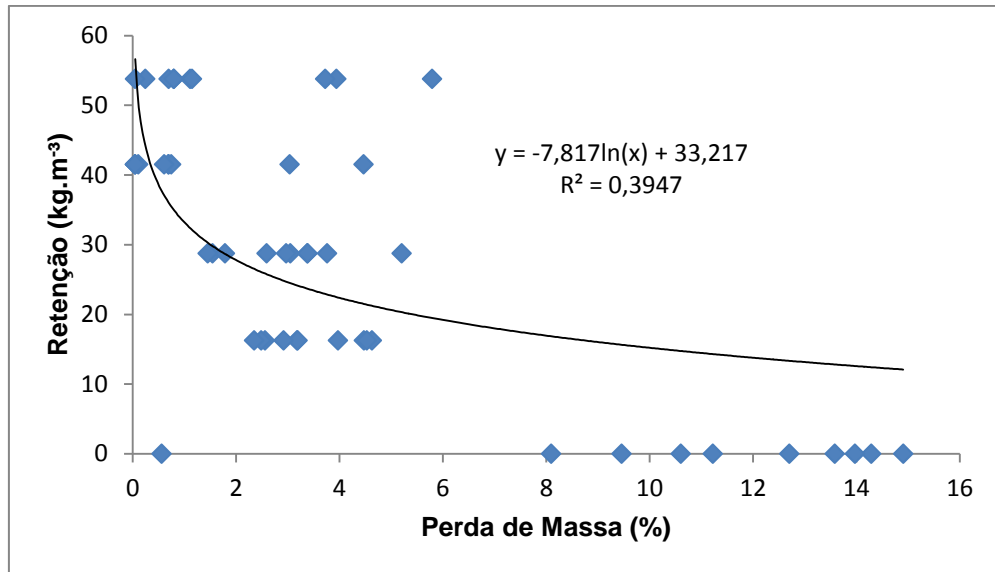


Figura 9 - Perda de massa em função das retenções para o fungo *Polyporus sanguineus*.

Na Figura 10, observa-se que houve um decréscimo na perda de massa da madeira de *Pinus* sp. a partir da retenção de $16,25 \pm 2,92 \text{ kg.m}^{-3}$. Nesta retenção, a ASTM D- 2017 (2005b) classifica a madeira como altamente resistente a deterioração dos fungos, pois sua perda de massa esteve entre 0 e 10%. Na testemunha (madeira não tratada) observou-se a degradação dos fungos, classificando a madeira como não resistente ao ataque (ASTM D-2017, 2005b), Tabela 1.

Nota-se, na Figura 11, que ocorreu um decréscimo na perda de massa da madeira de *Pinus* sp. a partir da retenção de $16,25 \pm 2,92 \text{ kg.m}^{-3}$. Nesta retenção, a ASTM D-2017 (2005b) classifica a madeira como moderadamente resistente a deterioração dos fungos, pois sua perda de massa esteve entre 11 e 24%. A partir da retenção $41,50 \pm 2,95 \text{ kg.m}^{-3}$, foi conferida uma maior proteção à madeira pelo óleo de candeia, permitindo classificar a madeira como altamente resistente (ASTM D-2017, 2005b), Tabela 1.

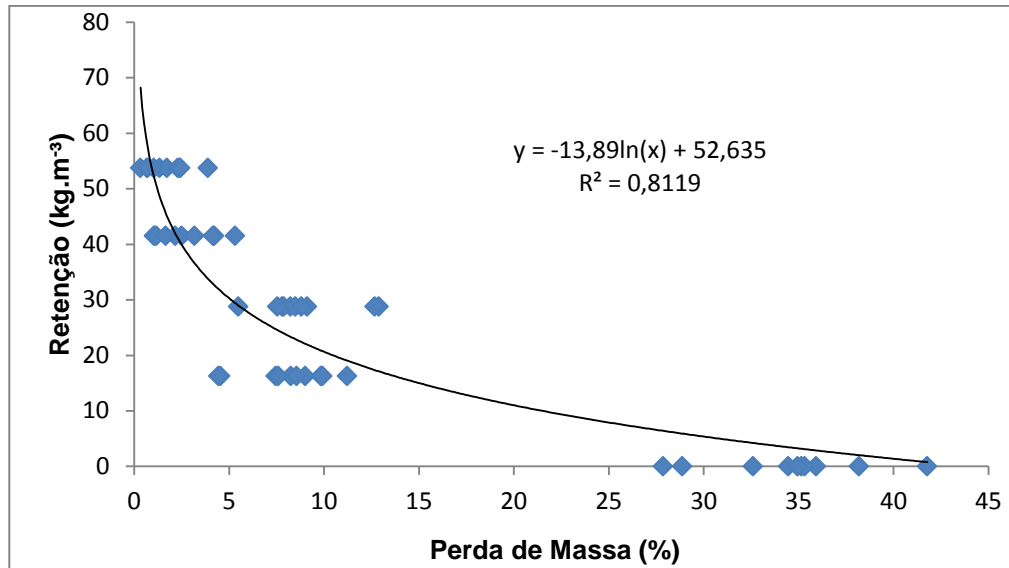


Figura 10 - Perda de massa média em função das retenções para todos os fungos testados.

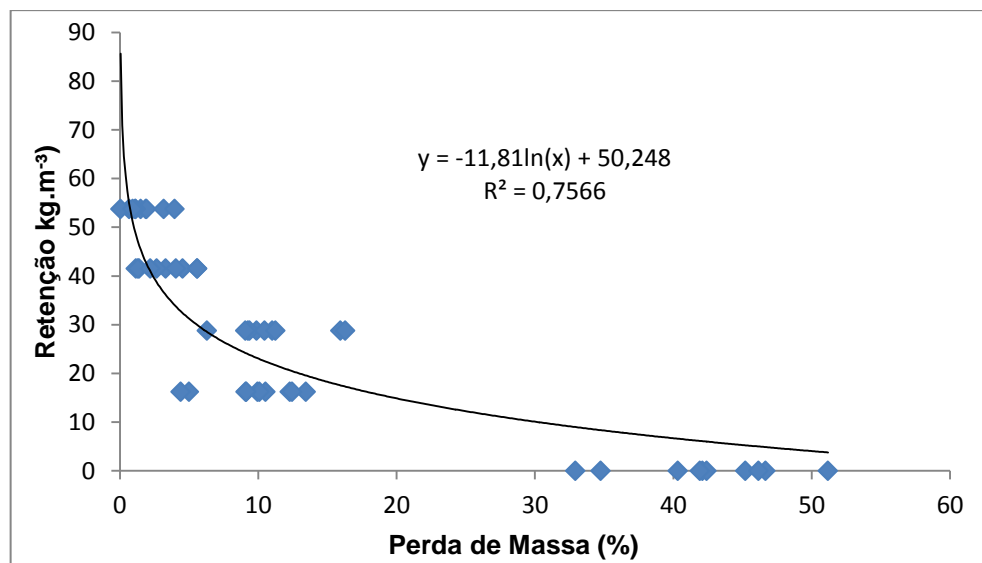


Figura 11 - Perda de massa média em função das retenções para os fungos testados, sem o efeito do fungo *Polyporus sanguineus*.

Ensaio biológicos realizados por Paes et al. (2010), para avaliar a eficiência do óleo de candeia a cupins da espécie *Nasutitermes corniger*, quando aplicados em madeira de sumaúma (*Ceiba pentandra*), determinaram que retenções de 10,61 a 16,73 kg.m⁻³ (ensaio de alimentação forçada) e 38,35 a 58,22 kg.m⁻³ (ensaio de preferência alimentar), foram suficientes para incrementar resistência da

madeira, inibindo o ataque dos cupins. Nas retenções superiores a $16,73 \text{ kg.m}^{-3}$ (ensaio de alimentação forçada) e a $58,22 \text{ kg.m}^{-3}$ (ensaio de preferência alimentar), o óleo de candeia preveniu o ataque da madeira testada, inviabilizando o acesso dos cupins à fonte de alimento. Nos ensaios realizados, os autores concluíram que, em função da eficiência do óleo de candeia contra cupins xilófagos, retenções da ordem de $10,61 \text{ kg.m}^{-3}$ seriam suficientes para prevenir o ataque de cupins em estruturas diversas, como escadas, armários embutidos batentes de portas e janelas.

6. CONCLUSÕES

O óleo de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish.) conferiu melhoria na resistência de madeira de *Pinus* sp aos fungos xilófagos testados.

O incremento da retenção do óleo de candeia na madeira reduziu a perda de massa causada pelos fungos de podridão parda e branca.

A retenção de 16,25 kg.m⁻³ foi capaz de prevenir ou inibir a degradação de fungos xilófagos na madeira de *Pinus* sp. Tratada, ocorrendo um decréscimo do ataque do fungo de 26,43 % quando comparado à testemunha, este valor representou um acréscimo de 76,59 % na resistência da madeira.

Dentre os fungos testados, o *Postia placenta* degradou com mais intensidade a madeira de *Pinus* sp., ocorrendo 54,03 % de perda de massa na testemunha. O *Polyporus sanguineus* foi o fungo com menor magnitude de degradação, incidindo 10,94 % de perda de massa.

Esta pesquisa reitera a necessidade de novos estudos para avaliar o efeito do óleo de candeia na madeira tratada, quando submetida a situações mais próximas daquelas em uso.

7. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D - 1413**: standard test method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2005a. 7p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D - 2017**: standard test method for accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2005b. 5p.

COSTA, C.G. et al. Xilema. In: APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S.M. **Anatomia Vegetal**. Viçosa: UFV, cap. 5, p. 129-154, 2003.

FARIAS SOBRINHO, D. W. **Viabilidade técnica e econômica do tratamento preservativo da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.), pelo método de substituição da seiva**. 2003. 53f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

OLIVEIRA, J.T.S. et al. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.5, p.819-826, 2005.

PAES, J.B. et al. Eficiência do óleo de candeia na melhoria da resistência da madeira de sumaúma a cupins. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 2, p. 217-225, 2010.

PAES, J.B.; MORAIS, V.M.; LIMA, C.R. Resistência natural de nove madeiras do semiárido brasileiro a fungos causadores da podridão-mole. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.3, p.365-371, 2005.

SANTOS, R.C. et al. Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 241-250, 2008.

SALUSTIANO, M.E. et al. Extratos de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish) na inibição *in vitro* de *cylindrocladium scoparium* e de quatro espécies de ferrugens. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 189-193, 2006.

SCOLFORO, J.R. et al. Manejo sustentado das candeias *Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeisch e *Eremanthus incanus* (Less.) Less. **Relatório Técnico Científico**. Lavras: UFLA\FAEPE, 350p. 2002.

SCOLFORO, J.R. et al. **O manejo de plantações de candeia**. 22. ed. Lavras: editora UFLA, 2008, 27p.

SILVA, J.C. **Métodos práticos de tratamento de madeira na propriedade rural**. Viçosa: UFV, PEC, Núcleo de Difusão e Tecnologia, 2006. 40p. (Boletim de Extensão, 49).

SIAU, J. F. **Wood**: influence of moisture on physical properties. Virginia: Polytech. Inst. Dep. of Wood Science and Forest Product, 1995. 227p.

STELL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistic: a biometrical approach**. 2. ed. New York: Mc Graw Hill, 1980. 633 p.

VALLE, M.L.A. **Propriedades da madeira de eucalipto de primeira e segunda rotação, visando a sua utilização como madeira preservada**. 2009 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

VALVERDE, S.R. et al. Participação do setor florestal nos indicadores socioeconômicos do Estado do Espírito Santo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.105-113, 2005.