



Eficiência de preservantes fungicidas em madeiras de duas espécies florestais submetidas à deterioração por fungo

Ezequiel GALLIO^{1*}, Darci Alberto GATTO², Marília LAZAROTTO³, Rafael BELTRAME²

¹ Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul.

² Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul.

³ Departamento de Horticultura e Silvicultura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

* E-mail: egeng.florestal@gmail.com

Recebido em fevereiro/2017; Aceito em abril/2017.

RESUMO: O objetivo desse estudo foi avaliar a eficiência de produtos fungicidas na preservação de madeiras de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii*. Para isso, corpos de prova de 2,5 x 2,5 x 0,9cm (tangencial x radial x longitudinal), foram impregnados com borato de cobre cromatado (CCB), piretróides sintéticos e carbamatos (PSC) e quelato de cobre e carbamatos (QCC), com concentrações de 2%, 4% e 6% por processo de vácuo-pressão. Avaliou-se a perda de massa e variação na dureza Janka e teor de umidade devido deterioração provocada pelo fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum*. A perda de massa foi de 4,6% para o *Eucalyptus dunnii* e 11,9% para o *Pinus elliottii*. A deterioração elevou o teor de umidade e reduziu a dureza. Para ambas as espécies, observou-se correlação alta, diretamente proporcional e significativa para a perda de massa e teor de umidade. Já a relação entre a perda de massa e a dureza foi inversamente proporcional para ambas as espécies, sendo alta e significativa para o *Eucalyptus dunnii*, e não significativa para o *Pinus elliottii*. Concluiu-se que o princípio ativo de destaque frente aos demais foi o PSC, com concentração de 6% e que a perda de massa influenciou as outras propriedades.

Palavras-chave: podridão branca, preservação da madeira, propriedades tecnológicas.

Efficiency of preservatives fungicides in two forest woods species submitted to fungus deterioration

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the efficiency of fungicide products in the *Eucalyptus dunnii* and *Pinus elliottii* wood preservation. For this, 2.5 x 2.5 x 0.9 cm (tangential x radial x longitudinal) specimens were impregnated with chromated copper borate (CCB), synthetic pyrethroids and carbamates (PSC), and copper chelate and carbamates (QCC) at concentrations of 2%, 4% and 6%, by vacuum-pressure process. It was evaluated the mass loss, and variation in Janka hardness and moisture content because the deterioration caused by the white rot fungus *Ganoderma applanatum*. The mass loss was 4.6% for *Eucalyptus dunnii* and 11.9% for *Pinus elliottii*. The deterioration increased the moisture content and reduced the hardness. For both species, a high and directly proportional and significant correlation was observed for mass loss and moisture content. However, the relationship between mass loss and hardness was inversely proportional to both species, being high and significant for *Eucalyptus dunnii*, and not significant for *Pinus elliottii*. It was concluded that the main active principle in relation to the others was the PSC, with concentration of 6% and that the mass loss influenced the other properties.

Keywords: white rot, wood preservation, technological properties.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material que possui uma grande variedade de aplicações na construção civil, marcenaria, painéis, dentre outros. Contudo, para se utilizar esse material de maneira adequada, faz-se necessário o conhecimento de suas características tecnológicas, uma vez que sua qualidade aplicação está estreitamente relacionada a essas características.

Considerando o exposto, a durabilidade natural da madeira torna-se um bom indicativo de qualidade, sendo que a mesma varia entre as espécies e dentro de uma mesma espécie, estando associada principalmente com a composição química,

principalmente dos extrativos. O material madeira apresenta susceptibilidade à deterioração por agentes xilófagos devido principalmente à sua composição química e origem orgânica (PALA, 2007).

Segundo Moreschi (2013), os fungos são os agentes xilófagos que atacam a madeira com maior severidade, pois os mesmos apresentam uma elevada taxa de desenvolvimento em um espaço curto de tempo, adaptando-se as mais distintas condições.

Dutton et al. (1993) ressaltaram que os componentes poliméricos presentes na parede celular são ricos em componentes utilizados como fonte de nutrição dos xilófagos, comprometendo a qualidade desse material através da

deterioração dos atributos tecnológicos, principalmente pela liberação de enzimas que enfraquecem a parede celular.

Isso acaba gerando riscos à segurança, dependendo da finalidade em que foi empregada a madeira, acarretando também na reposição de peças comprometidas e aumentando os gastos de um empreendimento.

Uma alternativa viável para atenuar, controlar ou até mesmo erradicar os efeitos adversos provocados por esses organismos, é a realização de tratamentos preservantes na madeira (LIMA et al., 2014). Por meio desses, é possível aumentar a vida útil da madeira, mantendo sua qualidade em serviço por mais tempo.

Para a realização do processo de preservação da madeira, além de um método adequado, faz-se necessária a seleção de produtos preservantes, os quais podem possuir origem natural, como extratos obtidos a partir de outros vegetais, ou química, como o arseniato e o borato de cobre cromatado, CCA e CCB, respectivamente.

O CCA é um dos preservantes de madeira mais eficiente na proteção contra a deterioração por agentes xilófagos, contudo, dependendo de sua formulação química e reação com a madeira, o componente químico arsênio pode ficar disponível, e uma vez que o mesmo é tóxico, pode tornar-se nocivo ao homem e ao ambiente. (VIDAL et al., 2015). Para sanar esse problema, as indústrias consolidaram no mercado outro preservante, em que o arsênio foi substituído pelo boro, surgindo assim o CCB. Tiburtino et al. (2015) argumentaram que o CCB apresenta índices de toxicidade inferiores ao CCA. Contudo, esse produto apresenta um problema de lixiviação excessiva quando exposto continuamente a gradientes de umidades, provocando o decréscimo na efetividade do tratamento preservativo.

Nesse contexto, empresas e pesquisadores vêm buscando a inserção de produtos alternativos ao CCA e CCB, os quais sejam eficientes na preservação da madeira mantendo suas características tecnológicas, com baixos níveis de toxicidade ao homem e ao ambiente, e que possam ser comercializados com preços acessíveis ao mercado consumidor.

Por esse ponto de vista, já existem no mercado produtos à base quelato de cobre, piretróides sintéticos e carbamatos, porém, os mesmos são pouco divulgados se comparados ao CCA e CCB, acarretando assim na escassez de estudos que comprovem sua eficiência e qualidade na preservação de madeiras.

Porto (2010) avaliou que, além de ser um preservante fungicida eficiente, o quelato de cobre possui uma baixa toxicidade aos mamíferos. Já Galvão et al. (2004) observaram a necessidade de combinar piretróides sintéticos e carbamatos, já que o segundo composto não é um inseticida eficaz. Santos et al. (2007) ainda destacam que os piretróides sintéticos necessitam de pequenas quantidades para tornarem-se eficientes, e apresentam baixa toxicidade ao homem.

Diante da necessidade de investigação do uso de alternativas aos produtos à base de boro e arsênio, comprovadamente nocivos ao homem e ao ambiente, o objetivo desse estudo foi avaliar a eficiência de outros preservantes fungicidas, por meio da realização de ensaio de apodrecimento acelerado com o fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum*, em madeiras de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material e preservantes utilizados

O estudo foi conduzido nos laboratórios de propriedades tecnológicas da madeira pertencentes ao curso de Engenharia

Industrial Madeireira, da Universidade Federal de Pelotas, no município de Pelotas, RS.

Para a realização da pesquisa utilizaram-se 120 corpos de prova de 2,5x2,5x0,9cm (sendo a menor dimensão no sentido paralelo às fibras) divididos em 10 tratamentos por espécie, provenientes do desdobro de tábuas de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii*, com 28 e aproximadamente 15 anos de idade, respectivamente. Do alburno da madeira de *Pinus elliottii*, retiraram-se placas suporte para o desenvolvimento do fungo apodrecedor.

Após confeccionados, encaminharam-se os corpos de prova para câmara climatizada, ajustada com 20°C de temperatura e 65% de umidade, até que ocorresse a estabilização da massa, para posteriormente serem impregnados com a solução preservante.

Os produtos preservantes empregados foram dois hidrossolúveis e um oleossolúvel. Os princípios ativos dos preservantes hidrossolúveis eram o Borato de Cobre Cromatado (CCB) e o Quelato de Cobre e Carbamatos (QCC), enquanto Piretróides Sintéticos e Carbamatos (PSC) compunham o preservativo oleossolúvel.

Quanto ao ensaio de apodrecimento acelerado, o Laboratório de Produtos Florestais - LPF do Serviço Florestal Brasileiro - SFB, localizado em Brasília - DF, cedeu isolados do fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum*.

2.2. Preparo e impregnação da solução preservante

Com cada princípio ativo obtiveram-se soluções preservantes com concentrações de 2%, 4% e 6%. A determinação da quantidade de produto a ser diluída no solvente foi baseada nas recomendações do fabricante. Empregou-se a água destilada como solvente para diluir o produto à base de CCB e QCC, enquanto o produto preservante que possuía o PSC como ingredientes ativos foi diluído em acetona.

Utilizou-se o método por vácuo-pressão para o processo de impregnação dos tratamentos nos corpos de prova das duas espécies florestais. Após a geração de vácuo para a retirada de ar da câmara da autoclave e do interior das amostras de madeira, com uma bomba de vácuo por um período de 10 minutos, preencheu-se o interior da autoclave com a solução e em seguida aplicou-se uma pressão de 8kgf/cm² por 90 minutos, por meio do emprego de um compressor.

Finalizado o processo de impregnação, encaminhou-se as madeiras tratadas novamente para a câmara climatizada, visando a fixação das soluções preservantes no interior da madeira. Após atingirem a condição de equilíbrio higroscópico, obteve-se o peso à 12% de umidade (um dos parâmetros para determinar o teor de umidade de equilíbrio), e na sequência, secaram-se os corpos de prova à 50°C até estabilização da massa, para a obtenção do peso inicial, posteriormente empregado na determinação da perda de massa. Visando reduzir o risco de contaminação, os corpos de prova foram autoclavados à 120°C e 1atm de temperatura e pressão, respectivamente.

2.3. Ensaio de apodrecimento acelerado

O ensaio de apodrecimento acelerado com o fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum* foi conduzido conforme adaptação da norma D 2017, da American Society for Testing and Materials (ASTM, 2005) e metodologia adotada por Modes et al. (2012).

Para tanto, determinaram-se em laboratório, o pH do solo (obteve-se um valor de 6,0, dentro dos limites estipulados pela

norma), e o teor de umidade e a capacidade de retenção do solo por meio do emprego do método gravimétrico, o qual considera as diferentes leituras de peso obtidas em duas condições distintas (no caso do presente estudo, o peso inicial e o peso após secagem em estufa à 103°C). Com base na capacidade de retenção do solo e parâmetros especificados na norma D 2017 (2005), corrigiu-se a umidade do solo para 130% da capacidade de retenção.

Utilizando-se 8 frascos de vidro com capacidade de 500ml por tratamento, adicionou-se aproximadamente 100g de solo, peneirado em malha de 4,75mm de abertura e, na sequência, foi adicionada a placa suporte de *Pinus elliottii* sobre o solo, acrescentando-se a quantidade determinada de água destilada pelos cálculos provenientes da norma visando à correção da umidade.

Inseridas as placas suporte e adequadamente tampados os frascos, iniciou-se o processo de autoclavagem, visando a esterilização dos mesmos. Para tanto, os frascos passaram por duas autoclavagens de 40 minutos, com 1atm de pressão e 120°C de temperatura em intervalo de 24 h entre as autoclavagens.

A repicagem dos isolados do fungo apodrecedor desenvolvidos em meio extrato-de-malte-ágar (MEA) foi realizada no interior de uma capela de fluxo laminar (ambiente asséptico). Retiraram-se discos de aproximadamente 5mm, colocando-os sobre as placas suporte dos frascos que haviam sido autoclavados.

Após inoculados com o fungo, os frascos ficaram acondicionados em câmara climatizada (20°C de temperatura e 65% de umidade relativa) por um período de 30 dias, sem luminosidade, visando o desenvolvimento do fungo sobre a placa suporte.

Desenvolvido o fungo sobre a placa suporte, e novamente com o auxílio de uma capela de fluxo laminar, adicionaram-se os corpos de prova (controle e tratados) e os blocos de correção nos frascos colonizados e sem a presença do fungo, respectivamente, por um período de 16 semanas.

Passado o período de ensaio de deterioração, retiraram-se os corpos de prova do interior dos frascos, e com o auxílio de uma espátula, removeu-se cuidadosamente o micélio do fungo que recobria o corpo de prova. Feita a remoção do corpo fúngico, os corpos de prova foram secos em estufa novamente à 50°C para obtenção do peso final (possibilitando assim a determinação da perda de massa), e em seguida, à 103±2°C, para obter o peso à 0% de umidade, utilizado na determinação do teor de umidade de equilíbrio.

Isso possibilitou analisar a influência da deterioração pelo ataque do fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum* nas propriedades tecnológicas de interesse das madeiras de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii*.

2.4. Propriedades tecnológicas avaliadas

As propriedades tecnológicas avaliadas após o ensaio de apodrecimento acelerado com o fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum* foram: perda de massa, teor de umidade de equilíbrio e dureza Janka.

Determinou-se o percentual de perda de massa (Equação 1) das madeiras deterioradas, conforme adaptação da norma ASTM D 2017 (2005).

$$PM = \frac{P_i - P_f}{P_i} \quad (1)$$

em que: PM = perda de massa das amostras após ensaio de apodrecimento acelerado com o fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum* em %; P_i = peso inicial da amostra antes do ensaio de apodrecimento com o fungo *Ganoderma applanatum*, em g; P_f = peso final da amostra após ensaio de apodrecimento com o fungo *Ganoderma applanatum*, em g.

O teor de umidade de equilíbrio (Equação 2) do grupo controle e dos corpos de prova deteriorados foram determinados por meio da determinação dos parâmetros correspondentes na equação.

$$TU = \left(\frac{P_{12} - P_0}{P_0} \right) \times 100 \quad (2)$$

em que: TU = teor de umidade de equilíbrio das amostras de madeira, em %; P_{12} = peso em condição de equilíbrio higroscópico de 12% de umidade, em g; P_0 = peso em condição de umidade de 0%, após secagem em estufa (103°C), em g.

Já a determinação da dureza Janka das madeiras tratadas e das deterioradas pelo fungo apodrecedor procedeu segundo adaptação da normatização ASTM D 143 (2014). Em uma máquina universal de ensaios - EMIC, com capacidade de carga de 300kN, realizou-se o ensaio de dureza Janka, o qual consistiu na penetração de uma esfera com aproximadamente 1cm² de área, a uma velocidade de 0,6mm/min., até 5mm de profundidade.

2.5. Análise estatística

Utilizando-se o software Sisvar e por meio da análise de Scott-Knott, considerando uma probabilidade de erro de 5%, verificou-se a ocorrência de diferenças significativas entre os tratamentos.

A correlação de Pearson foi empregada para avaliar a relação existente entre a perda de massa, o teor de umidade e a dureza, com uma significância de 5% de probabilidade de erro.

3. RESULTADOS

3.1. Perda de massa

Visualiza-se na Tabela 1 que, após um período de 16 semanas de ensaio de apodrecimento acelerado com o fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum*, obteve-se uma perda de massa média nas amostras controle de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii* de 4,87 e 11,90% respectivamente, e que houve diferença significativa entre os tratamentos, em ambas as espécies, com uma significância de probabilidade de erro de 5%.

Observando os valores de perda de massa para as espécies tratadas, verifica-se que o princípio ativo que se destacou foi o PSC, com uma concentração de 6%, possivelmente devido às suas reações de fixação no interior da madeira proporcionaram, em conjunto com os compostos químicos presentes na solução, uma proteção eficiente em comparação aos demais tratamentos.

Vale ressaltar que o mesmo não diferiu significativamente dos tratamentos à base de CCB 2%, CCB 4% e QCC 6% para a madeira de *Eucalyptus dunnii* e do tratamento PSC 4% no *Pinus elliottii*.

3.2. Teor de umidade de equilíbrio

Na Tabela 2 constata-se que o ataque do fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum* em ambas as

Tabela 1. Valores percentuais médios de perda de massa, provocada pelo fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum* em madeiras de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii*.
Table 1. Average percentage of mass loss, caused by the white rot fungus *Ganoderma applanatum* in *Eucalyptus dunnii* and *Pinus elliottii* woods.

Tratamentos	PM (%)	
	<i>Eucalyptus dunnii</i>	<i>Pinus elliottii</i>
Controle	4,87 c	11,90 e
CCB 2%	1,23 a	2,49 c
CCB 4%	1,56 a	2,57 c
CCB 6%	1,94 b	3,37 d
PSC 2%	1,97 b	2,51 c
PSC 4%	2,02 b	0,91 a
PSC 6%	1,28 a	0,86 a
QCC 2%	1,95 b	1,88 b
QCC 4%	1,91 b	2,21 c
QCC 6%	1,63 a	1,57 b

Em que: Trat. = tratamentos; PM = perda de massa (%); Médias nas colunas seguidas pela mesma letra, não diferem entre si conforme o teste Scott-Knott, em uma probabilidade de erro de 5%; CCB (borato de cobre cromatado); PSC (piretróides sintéticos e carbamatos); QCC (quelato de cobre e carbamatos).

Tabela 2. Valores percentuais médios do teor de umidade dos tratamentos nas madeiras de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii*, antes e após ensaio de apodrecimento acelerado com o fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum*.

Table 2. Average percentages of moisture content of the treatments in *Eucalyptus dunnii* and *Pinus elliottii* woods, before and after accelerated decay test with the white rot fungus *Ganoderma applanatum*.

Trat.	Teor de umidade de equilíbrio (%)			
	<i>Eucalyptus dunnii</i>		<i>Pinus elliottii</i>	
	Test.	Det.	Test.	Det.
Controle	12,74 a	18,56 b	13,01 a	28,32 b
CCB 2%	14,12 a	15,56 b	15,05 a	17,90 b
CCB 4%	14,51 a	16,30 b	14,74 a	17,79 b
CCB 6%	14,75 a	17,02 b	14,72 a	18,76 b
PSC 2%	12,89 a	15,24 b	12,70 a	15,63 b
PSC 4%	12,94 a	15,25 b	13,99 a	15,29 b
PSC 6%	14,21 a	15,89 b	13,97 a	14,91 b
QCC 2%	14,04 a	16,28 b	13,82 a	15,80 b
QCC 4%	14,08 a	16,28 b	14,01 a	16,45 b
QCC 6%	14,04 a	15,89 b	13,91 a	15,70 b

Em que: Trat. = tratamentos; Test. = testemunhas; Det. = deterioradas; Médias nas linhas, para uma mesma espécie seguidas pela mesma letra, não diferem entre si conforme o teste Scott-Knott, em uma probabilidade de erro de 5%; CCB (borato de cobre cromatado); PSC (piretróides sintéticos e carbamatos); QCC (quelato de cobre e carbamatos).

espécies (*Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii*) ocasionou um aumento significativo no teor de umidade de equilíbrio em todos os tratamentos, principalmente nos respectivos grupos controle.

O grupo controle de *Eucalyptus dunnii* apresentou um aumento de aproximadamente 46% no teor de umidade, enquanto o *Pinus elliottii* obteve 118% de aumento. A Tabela 2 possibilita verificar que dentre os tratamentos, na madeira de *Eucalyptus dunnii*, a menor variação foi observada no tratamento com CCB 2% (10,20%) e com PSC 6% (11,85%).

Em referência ao *Pinus elliottii*, verifica-se que os tratamentos os quais menos sofreram com a variação no teor de umidade foram o PSC 6% e PSC 4%, com 6,38 e 9,36 %, respectivamente.

3.3. Dureza Janka

A Tabela 3 apresenta as variações de dureza Janka nas madeiras de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii*, submetidas ao ensaio de apodrecimento com o fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum*. É possível verificar que, para ambas as espécies, o grupo controle apresentou diferença significativa entre as testemunhas e as amostras deterioradas, sendo que as amostras deterioradas sofreram uma redução na resistência mecânica caracterizada pelo ensaio de dureza Janka.

Tabela 3. Valores médios de dureza Janka para as espécies *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii*, antes e após ensaio de apodrecimento acelerado com o fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum*.

Table 3. Average values of Janka hardness for *Eucalyptus dunnii* and *Pinus elliottii* species, before and after accelerated rotting with the white rot fungus *Ganoderma applanatum*.

Trat.	Dureza Janka (kgf/cm ²)			
	<i>Eucalyptus dunnii</i>		<i>Pinus elliottii</i>	
	Test.	Det.	Test.	Det.
Controle	544,9 a	448,2 b	471,5 a	373,0 b
CCB 2%	564,9 a	566,8 a	512,8 a	446,8 a
CCB 4%	544,0 a	570,6 a	515,8 a	457,8 a
CCB 6%	567,1 a	549,3 a	496,8 a	416,6 a
PSC 2%	568,0 a	545,9 a	497,1 a	475,2 a
PSC 4%	536,3 a	570,8 a	466,4 a	398,2 a
PSC 6%	550,3 a	561,7 a	449,4 a	397,5 a
QCC 2%	554,9 b	602,8 a	435,8 a	381,2 a
QCC 4%	567,8 a	584,8 a	399,9 a	447,6 a
QCC 6%	540,3 a	578,3 a	434,4 a	459,2 a

Em que: Trat. = tratamentos; Test. = testemunhas; Det. = deterioradas; Médias nas linhas, para uma mesma espécie seguidas pela mesma letra, não diferem entre si conforme o teste Scott-Knott, em uma probabilidade de erro de 5%; CCB (borato de cobre cromatado); PSC (piretróides sintéticos e carbamatos); QCC (quelato de cobre e carbamatos).

3.4. Relação entre a perda de massa com o teor de umidade e dureza

Na Tabela 4 é possível verificar as correlações existentes entre a perda de massa, o teor de umidade e a dureza. Considerando a madeira de *Eucalyptus dunnii*, verifica-se uma correlação alta, significativa e diretamente proporcional entre a perda de massa e o teor de umidade, e alta, significativa e

Tabela 4. Correlação de Pearson entre a perda de massa e variação do teor de umidade e dureza para as espécies *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii*.

Table 4. Pearson correlation between mass loss and variation of moisture content and hardness for *Eucalyptus dunnii* and *Pinus elliottii* species.

	PM	TUE	Dureza
<i>Eucalyptus dunnii</i>			
PM	1		
TUE	0,9956 *	1	
Dureza	- 0,8498 *	- 0,8670 *	1
<i>Pinus elliottii</i>			
PM	1		
TUE	0,9979 *	1	
Dureza	- 0,4215 ns	- 0,4243 ns	1

Em que: PM = perda de massa após ensaio de apodrecimento acelerado com o fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum* (%); TUE = variação do teor de umidade de equilíbrio (%); Dureza = variação percentual da tensão máxima obtida pelo ensaio de dureza Janka (%); * = significativamente diferente em 5% de erro (P < 0,05); ns = não apresenta diferença significativa com 5% de erro (P > 0,05).

inversamente proporcional da perda de massa com a dureza. Está última apresenta uma correlação significativa, alta e inversamente proporcional com o teor de umidade da madeira.

Já para o *Pinus elliottii*, a perda de massa foi alta, significativa e diretamente proporcional em relação ao teor de umidade, enquanto foi não significativa e inversamente proporcional na relação entre a perda de massa e dureza, e o teor de umidade com a dureza.

4. DISCUSSÃO

A perda de massa superior encontrada na espécie de *Pinus elliottii* em relação ao *Eucalyptus dunnii* possivelmente está associada as propriedades anatômicas, densidade e a composição química dessas espécies, principalmente às substâncias, como fenóis e terpenos, que compõem os extrativos da madeira de *Eucalyptus dunnii*.

Expondo a madeira de *Eucalyptus dunnii* a um ensaio de apodrecimento acelerado com o fungo de podridão branca *Ganoderma applanatum*, Carvalho et al. (2015) observaram uma perda de massa de aproximadamente 32,5% após 12 semanas de ensaio, sendo superior ao resultado obtido no presente estudo.

Realizando ensaio de apodrecimento laboratorial de sete espécies florestais (*Araucaria angustifolia*, *Carya illinoensis*, *Eucalyptus grandis*, *Hovenia dulcis*, *Luehea divaricata*, *Platanus x acerifolia* e *Peltophorum dubium*) com o fungo *Pycnoporus sanguineus*, Modes et al. (2012) determinaram as seguintes perdas de massa: 25,54%, 1,51%, 6,06%, 14,00%, 2,02%, 0,54% e 4,39%, respectivamente.

Já para a espécie de *Pinus taeda* submetida ao ensaio de deterioração pelo mesmo fungo apodrecedor, Bobadilla et al. (2007) determinaram uma perda de massa média de aproximadamente 37% para a madeira *in natura*. Submetendo madeiras de *Pinus elliottii* à deterioração pelo fungo de podridão branca *Pycnoporus sanguineus*, Bernardis; Popoff (2009) obtiveram uma perda de massa de 25%.

A baixa perda de massa encontrada no presente estudo pode estar associada com os mecanismos de deterioração por parte do fungo, os quais variam em diferentes espécies, bem como, a questões relacionadas ao ensaio, como diminuição de vigor vegetativo dos fungos. Em seus estudos, Alves et al. (2006) observaram que a intensidade do ataque do fungo de podridão branca *Pycnoporus sanguineus*, determinado por meio da perda de massa, apresentou variação entre diferentes espécies de madeira amazônicas (*Aspidosperma desmanthum*, *Mouriri callocarpa*, *Parinari excelsa*, *Astronium* sp., *Peltogyne paniculata*, *Marmaroxylon racemosum*).

Quanto ao teor de umidade, no caso do produto à base de PSC, as menores variações no teor de umidade, além das amostras possivelmente terem sofrido pouca deterioração pelo ataque do fungo, o produto em si contém em sua composição substâncias que são repelentes à água, dificultando assim a adsorção e desorção de umidade pela madeira.

Em seus estudos, Calonego et al. (2013) notaram que após o ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório com o fungo de podridão branca *Pycnoporus sanguineus*, ocorreu variação no teor de umidade (9,2% à 244,3%) de madeiras de *Eucalyptus grandis*.

Outro fator a ser considerado na variação do teor de umidade é que o mesmo é determinado pelas leituras de suas massas

em duas condições distintas, é esperado que a perda de massa acabe influenciando no teor de umidade da madeira. Além disso, o próprio corpo fúngico (micélio e hifas) é constituído de material orgânico, e mesmo após a limpeza dos corpos de prova, esse material fica retido no interior das amostras de madeira, acarretando variações no peso, refletindo assim no teor de umidade.

Já as reduções de peso e resistência mecânica das amostras deterioradas estão associadas às variações na composição química das madeiras, sofridas durante o processo de degradação (MALAKANI et al., 2014). Possivelmente, devido as enzimas liberadas pelos fungos para a conversão dos polissacarídeos da parede celular em monossacarídeos, a penetração das hifas nas paredes e lúmens celulares acabam enfraquecendo as mesmas, causando assim um decréscimo nos parâmetros relacionados a resistência mecânica.

Conforme Winandy; Morell (1993), a despolimerização da celulose, bem como, a degradação da hemicelulose, estão estritamente relacionadas com a perda de resistência mecânica das madeiras, sendo que Almeida Costa et al. (2011) complementam que os fungos de podridão branca não apresentam especificidade quanto à deterioração da celulose, hemicelulose e lignina. Tendo em vista que a lignina confere resistência mecânica à madeira, sua degradação influencia diretamente na perda de resistência mecânica.

Em seus estudos, Malakani et al. (2014) utilizando o método de dureza superficial Brinell constataram que a madeira de *Fagus orientalis* submetida à deterioração pelo fungo de podridão branca *Coriolus versicolor*, determinaram um decréscimo de dureza de aproximadamente 85%. Já no presente estudo, as madeiras do grupo controle de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii*, ambas sofreram uma redução de aproximadamente 21%.

Em madeiras de *Simarouba amara*, *Cariniana micranta* e *Dipteryx odorata* submetidas ao ensaio de apodrecimento acelerado com o fungo de podridão branca *Trametes versicolor*, Stangerlin et al. (2013) observaram que a perda de massa ocasionou decréscimo na dureza da madeira, resultado semelhante ao encontrado no presente estudo. É importante ressaltar que mesmo a perda de massa indicando ser

Quanto a relação existente entre a perda de massa e o teor de umidade de equilíbrio da madeira de *Eucalyptus grandis* deteriorada pelo fungo *Pycnoporus sanguineus*, Calonego et al. (2013), verificaram que a medida que o aumento da perda de massa acarretava no aumento do teor de umidade da madeira, explicitando uma relação positiva. Contudo, a elevação no teor de umidade está atrelada também ao componente químico que está sendo deteriorado (exemplo as hemiceluloses), complementado pela perda de massa.

Quanto a relação entre a dureza e o teor de umidade, tendo em vista a deterioração dos componentes químicos que ocasionam aumento no teor de umidade, a dureza acaba sofrendo uma redução, tornando-se inversamente relacionada ao teor de umidade.

5. CONCLUSÕES

Todos os tratamentos preservantes reduziram a perda de massa, em relação ao grupo controle;

O produto preservante à base de PSC pode ser empregado em detrimento à utilização do borato de cobre cromatado (CCB), principalmente com uma concentração de 6%;

A deterioração pelos fungos ocasionou o aumento no teor de umidade de equilíbrio e redução na dureza;

Para a espécie *Eucalyptus dunnii* houve correlação alta, diretamente proporcional e significativa entre a perda de massa e o teor de umidade de equilíbrio, enquanto a dureza relacionou-se de forma alta, significativa e inversamente proporcional com a perda de massa e com o teor de umidade de equilíbrio;

Para a espécie *Pinus elliottii*, a perda de massa apresentou correlação alta, significativa e diretamente proporcional com o teor de umidade de equilíbrio. Contudo a correlação entre dureza e a perda de massa, e com o teor de umidade de equilíbrio, demonstrou comportamento inversamente proporcional e não significativo;

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Montana Química Ltda. pela doação dos produtos preservantes de madeira, à CMPC Celulose Rio-Grandense pela doação das madeiras de *Eucalyptus dunnii*, à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado e as demais pessoas que de diversas maneiras colaboraram para a realização dessa pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA COSTA, M.; COSTA, A. F.; PASTORE, T. C. M.; BRAGA, J. W. B.; GONÇALEZ, J. C. Caracterização do ataque de fungos apodrecedores de madeiras através da colorimetria e da espectroscopia de infravermelho. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 567-577, 2011.
- ALVES, M. V. S.; COSTA, A. F.; ESPIG, D. S.; VALE, A. T. Resistência natural de seis espécies de madeiras da região amazônica a fungos apodrecedores, em ensaios de laboratório. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 17-26, 2006.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard test method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. **ASTM D 2017**. Annual book of ASTM standards. ASTM, West Conshohocken, PA. 2005.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard test methods for small clear specimens of timber. **ASTM D 143 - 94**. Philadelphia, 2014.
- BERNARDIS, A. C.; POPOFF, O. Durability of *Pinus elliottii* wood impregnated with quebracho colorado (*Schinopsis balansae*) bio-protectives extracts and CCA. **Maderas: ciencia y tecnología**, Concepción, v. 11, n. 2, p. 107-115, 2009. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2009000200002>
- BOBADILLA, E. A.; SUIREZS, T. M.; PERYRA, O.; WEBER, E.; SILVA, F.; STEHR, A. M. Durabilidad de la madera del *Pinus taeda* L. impregnado con arseniato de cobre cromatado, frente a hongos xilófagos, Misiones, Argentina. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 1, p. 15-20, 2007. <http://dx.doi.org/10.5380/uf.v37i1.7835>
- CALONEGO, F. W.; ANDRADE, M. C. N.; NEGRÃO, D. R.; ROCHA, C. D.; MINHONI, M. T. A.; LATORRACA, J. V.; SEVERO, E. T. D. Behavior of the brown-rot fungus *Gloeophyllum trabeum* on termally-modified *Eucalyptus grandis* wood. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 3, p. 417-423, 2013. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.028>
- CARVALHO, D. E.; SANTINI, E. J.; GOUVEIA, F. N.; ROCHA, M. P. Resistência natural de quatro espécies florestais submetidas a ensaio com fungos apodrecedores. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 2, p. 271-276, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.105914>
- DUTTON, M. V.; EVANS, C. S.; ATKEY, P. T.; WOOD, D. A. Oxalate production by Basidiomycetes, including the white-rot species *Coriulus versicolor* and *Phanerochaete chrysosporium*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Springer-Verlag, 39, p. 5-10, 1993. <https://doi.org/10.1007/BF00166839>
- GALVÃO, A. P. M.; MAGALHÃES, W. L. E.; MATTOS, P. P. Processos práticos para preservar a madeira. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 49p. (Documentos 96)
- LIMA, F. C. C.; SARTORI, M. S.; SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W. Tratamento de seis espécies de *Eucalyptus* spp., utilizando arseniato de cobre cromatado (CCA-C) em método industrial com autoclave. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 23, n. 1, p. 71-80, 2014.
- MALAKANI, M.; KHADEMIESLAM, H.; HASHEMI, S. K. H.; ZEINALY, F. Influence of fungal decay on chemi-mechanical properties of beech wood (*Fagus orientalis*). **Cellulose Chemistry and Technology**, Bucharest, v. 48, n. 1-2, p. 97-103, 2014.
- MODES, K. S.; LAZAROTTO, M.; BELTRAME, R.; VIVIAN, M. A.; SANTINI, E. J.; MUNIZ, M. F. B. Resistência natural das madeiras de sete espécies florestais ao fungo *Pycnoporus sanguineus* causador da podridão-branca. **Revista Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 407-411, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000300007>
- MORESCHI, J. C. **Biodegradação da madeira**. Biodegradação e preservação da madeira, v. 1, 53 f. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- PALA, H. Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico: a madeira. **Construção em Madeira**, n. 20, p. 54-63, 2007.
- PORTO, A. L. G. **Questões de preservação de bens culturais: a madeira como objeto de estudo**. 2010. 266 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Comissão de Pós-graduação, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2010.
- SANTOS, M. A. T.; AREAS, M. A.; REYES, F. G. R. Piretróides - uma visão geral. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 3, p. 339-349, 2007.
- STANGERLIN, D. M.; COSTA, A. F.; PASTORE, T. C. M.; GARLET, A. Dureza Rockwell da madeira de três espécies amazônicas submetidas a ensaios de apodrecimento acelerado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 4, p. 623-630, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013005000022>
- TIBURTINO, R. F.; PAES, J. B.; BERALDO, A. L.; ARANTES, M. D. C.; BROCCO, V. F. Tratamento preservativo de duas espécies de bambu por imersão prolongada e Boucherie modificado. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 1, p. 124-133, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.032113>
- VIDAL, J. M.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; JANKOWSKY, I. P. Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 257-271, 2015. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509817484>
- WINANDY, J. E.; MORELL, J. J. Relationship between incipient decay, strength, and chemical composition of douglas-fir heartwood. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 25, n. 3, p. 278-288, 1993.