



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

VICTOR FASSINA BROCCO

**EXTRATOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DA MADEIRA DE TECA PARA
PROTEÇÃO DA MADEIRA A ORGANISMOS XILÓFAGOS**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2019

VICTOR FASSINA BROCCO

**EXTRATOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DA MADEIRA DE TECA PARA
PROTEÇÃO DA MADEIRA A ORGANISMOS XILÓFAGOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: D.Sc. Juarez Benigno Paes

Coorientador: Ph.D. Grant T. Kirker

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

B863e Brocco, Victor Fassina, 1989-
Extratos de resíduos industriais da madeira de teca para
proteção da madeira a organismos xilófagos / Victor Fassina
Brocco. - 2019.
90 f. : il.

Orientador: Juarez Benigno Paes.
Coorientador: Grant T. Kirker.
Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias.

1. Resíduos madeireiros. 2. Tectona grandis. 3. Extrativos. 4.
Análise GC-MS. 5. Sistema CIE-L*a*b*. 6. Envelhecimento
acelerado. I. Paes, Juarez Benigno. II. Kirker, Grant T.. III.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências
Agrárias e Engenharias. IV. Título.

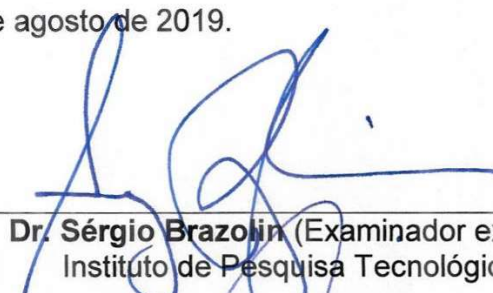
CDU: 630*38

**EXTRATOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DA MADEIRA DE TECA PARA
PROTEÇÃO DA MADEIRA A ORGANISMOS XILÓFAGOS**

Victor Fassina Brocco

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

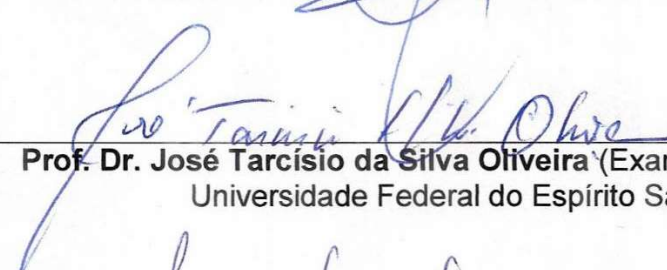
Aprovada em 09 de agosto de 2019.



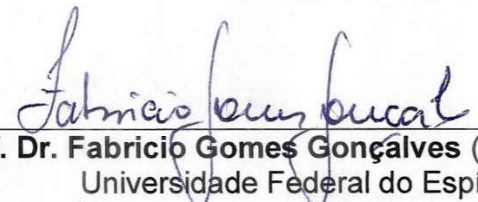
Dr. Sérgio Brazolin (Examinador externo)
Instituto de Pesquisa Tecnológicas



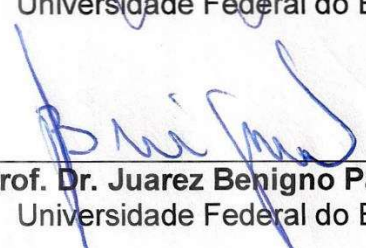
Prof. Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca (Examinador externo)
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira (Examinador externo)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Juarez Benigno Paes (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

A Deus e a minha família, por todo o suporte e carinho ao longo dessa jornada, em especial à minha esposa Lais, meus pais Zenobio e Marineti e meu irmão Vinicius.

À Universidade Federal do Espírito Santo, e ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, pela oportunidade de formação profissional e suporte para a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo (Código de Financiamento 001).

À empresa Cáceres Florestal S.A., em especial aos Srs. Luis Flávio Veit e Paulo Drager, pelo envio dos resíduos e pela disponibilidade em cooperar com nosso trabalho.

Ao meu orientador, Professor Dr. Juarez Benigno Paes, pela parceria, amizade e conhecimentos transmitidos nesses 9 anos, desde a Iniciação Científica até aqui.

Ao meu coorientador, o pesquisador PhD. Grant T. Kirker, pela colaboração, suporte prestado e por ter me aceito para o Estágio Doutoral no *Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture / Forest Service* (USDA-FS: FPL), Madison, Wisconsin, Estados Unidos da América.

Ao Programa Internacional do Governo dos Estados Unidos da América, pelo apoio e oportunidade de realizar intercâmbio durante o doutorado no USDA-FS: FPL. Agradeço em especial a Amy Bishell, Técnica na Unidade de Pesquisa em Durabilidade e Proteção da Madeira do FPL, pela ajuda, conhecimentos compartilhados e amizade nos momentos de lazer.

Aos membros da banca examinadora, D.Sc. Sérgio Brazolin, Prof. D.Sc. João Vicente de Figueiredo Latorraca, Prof. D.Sc. José Tarcísio da Silva Oliveira e Prof. D.Sc. Fabricio Gomes Gonçalves, pelas valiosas contribuições e sugestões para melhoria do trabalho.

Agradeço ainda aos pesquisadores e colegas do FPL Katie Ohno, Sara Fishwild, Stan Lebow, Rachel Arango, Vina Yang, Mark Mankowski, Steven Halverson e Adriana Costa pelos bons momentos de convivência compartilhados durante o período do Doutorado Sanduíche.

Aos professores Graziela B. Vidaurre e Pedro Segundinho pelas valiosas sugestões para o aperfeiçoamento do projeto de tese.

Aos técnicos e funcionários Elecy Palácio, José Geraldo Oliveira, Damielle Leite, Luciano Dias, Gilson Barbosa, Vanessa Firmino, Elizangela Almeida, Calebe Pereira, Eliane Brito e Joceli Nunes pelo apoio, ensinamentos, e serviços prestados.

Aos colegas de pesquisa e do Laboratório de Biodeterioração e Proteção da Madeira Yonny Martínez López, Joyce de Almeida, Ana Carla Bezerra, Lais Gonçalves, Jaily Keller, Arlon Bastos da Rosa, Pedro Nicó de Medeiros Neto, Sara Freitas de Sousa, José Guilherme Moreira, Lucas Braga Moulin e Fernanda Alves Catein pela convivência, ajuda e conselhos durante o desenvolvimento dos trabalhos realizados.

Aos professores, colegas, técnicos e funcionários do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, que de alguma forma, contribuíram para minha formação acadêmica, pela ajuda prestada e momentos de lazer.

A todos, nossa sincera gratidão e reconhecimento.

RESUMO

BROCCO, Victor Fassina. **Extratos de resíduos industriais da madeira de teca para proteção da madeira a organismos xilófagos**. 2019. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: D.Sc. Juarez Benigno Paes. Coorientador: Ph.D. Grant T. Kirker

O objetivo da pesquisa foi avaliar a eficácia de extratos provenientes do resíduo do processamento industrial da madeira de teca (*Tectona grandis*) como um preservativo natural para madeiras. Os resíduos obtidos foram quantificados quanto à solubilidade e submetidos a extrações em água quente, acetona, etanol e metanol. Os extratos brutos obtidos foram utilizados nas concentrações de 0,5; 1; 2; 4 e 8% em teste de inibição a fungos de podridão parda (*Postia placenta*, *Gloeophyllum trabeum*, *Neolentinus lepideus*) e branca (*Irpelex lacteus*). A partir do resultado de inibição fúngica, foi selecionada a concentração para a impregnação sob vácuo na madeira de *Pinus taeda*. Os extratos selecionados foram caracterizados por meio de cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS). A madeira tratada foi submetida às condições de envelhecimento acelerado, e as mudanças e estabilidade da cor foram verificadas pelas leituras colorimétricas (CIE-L*a*b*). Para testar a eficácia dos extratos na durabilidade da madeira, foram realizados ensaios com os fungos causadores das podridões parda e branca e à térmita *Nasutitermes corniger*. A concentração de 8% apresentou melhores resultados de inibição fúngica. O processo de impregnação conferiu retenção adequada dos extratos. Os extratos foram caracterizados como derivados de quinonas (35-37%), com destaque para a tectoquinona (26-29%), além de outros como o esqualeno (8-12%) e compostos fenólicos (6%). A concentração utilizada garantiu um escurecimento notável na madeira de *Pinus taeda* e elevada resistência aos xilófagos testados. As condições de envelhecimento testadas afetaram a cor e a resistência biológica da madeira, sendo os melhores resultados obtidos para o extrato em acetona.

Palavras-chave: Resíduos madeireiros, *Tectona grandis*, Extrativos, Análise GC-MS, Sistema CIE-L*a*b*, Envelhecimento acelerado.

ABSTRACT

BROCCO, Victor Fassina. **Extracts from teak wood industrial waste for wood protection against wood-destroying organisms**. 2019. Thesis (Doctorate in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: D.Sc. Juarez Benigno Paes. Co-advisor: Ph.D. Grant T. Kirker.

The aim of this study was to evaluate the efficacy of extracts from the waste of industrial processing of teak wood (*Tectona grandis*) as a natural wood preservative. The obtained wastes were quantified as to solubility and subjected to extraction in hot water, acetone, ethanol and methanol. The crude extracts were used in concentrations of 0.5; 1; 2; 4 and 8% in inhibition test to brown-rot (*Postia placenta*, *Gloeophyllum trabeum*, *Neolentinus lepideus*) and white-rot fungi (*Irpex lacteus*). From the result of fungal inhibition, the concentration for vacuum impregnation in *Pinus taeda* wood was selected. The selected extracts were characterized by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS). Treated wood was subjected to accelerated aging conditions and color changes and stability were verified by colorimetric readings (CIE-L*a*b*). To test the effectiveness of extracts in wood protection, tests were carried out with brown- and white-rot fungi, and *Nasutitermes corniger* termite. The concentration of 8% showed better fungal inhibition results. The impregnation process provided adequate retention of extracts. The extracts were characterized as quinones derivatives (35-37%), mainly tectoquinone (26-29%), as well as others such squalene (8-12%) and phenolic compounds (6%). The concentration used ensured a remarkable darkening in the *Pinus taeda* and high resistance to the xylophagous tested. The aging conditions tested affected wood color and biological resistance, and the best results were obtained for the acetone extract.

Keywords: Wood waste, *Tectona grandis*, extractives, GC-MS analysis, CIE-L*a*b* system, Accelerated aging.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo geral	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 DETERIORAÇÃO E PROTEÇÃO DA MADEIRA	12
2.2 APLICAÇÃO DOS EXTRATIVOS DA MADEIRA	15
2.3 EXTRATIVOS DA MADEIRA DE TECA	18
2.4 MECANISMO DE ATUAÇÃO DOS EXTRATIVOS CONTRA INSETOS XILÓFAGOS	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 PROCEDÊNCIA, COLETA E AMOSTRAGEM	31
3.2 TEOR DE EXTRATIVOS	32
3.3 PRODUÇÃO DAS SOLUÇÕES PARA TRATAMENTO DA MADEIRA	32
3.4 ENSAIO DE INIBIÇÃO E DEFINIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO	33
3.5 IMPREGNAÇÃO DOS EXTRATOS NA MADEIRA	35
3.6 ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS COMPOSTOS EXTRAÍDOS	36
3.7 ENSAIO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO E COLORIMETRIA	37
3.8 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A FUNGOS XILÓFAGOS	40
3.9 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A TERMITAS XILÓFAGAS	42
3.9.1 Ensaio de alimentação forçada	42
3.9.2 Ensaio de preferência alimentar	43
3.10 ANÁLISE E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1 QUANTIFICAÇÃO DOS EXTRATIVOS DE TECA	46
4.2 ENSAIO DE INIBIÇÃO E DEFINIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO	48
4.3 RETENÇÃO DE EXTRATIVOS APÓS O TRATAMENTO PRESERVATIVO	50
4.4 ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS COMPOSTOS EXTRAÍDOS	51
4.5 RESISTÊNCIA AO INTEMPERISMO E ESTABILIDADE DA COR	57
4.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A FUNGOS XILÓFAGOS	64
4.7 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A TERMITAS XILÓFAGAS	70
4.7.1 Ensaio de alimentação forçada	70
4.7.2 Ensaio de preferência alimentar a térmitas subterrâneos	73
5 CONCLUSÕES	77
6 REFERÊNCIAS	78
APÊNDICES	89

1 INTRODUÇÃO

Os produtos convencionais comumente utilizados para o tratamento da madeira, apesar de sua eficiência, vêm tendo seu uso restringido nos últimos anos, como é o caso do arseniato de cobre cromatado - CCA (KARTAL et al., 2015; LIN et al., 2009; WANG et al., 2016). As preocupações ambientais em torno dos riscos que esses produtos podem causar têm levado ao surgimento de pesquisas sobre a utilização de produtos naturais e métodos de modificação da madeira que sejam capazes de protegê-la contra a ação de agentes bióticos ou abióticos e que sejam ambientalmente viáveis (GONZÁLEZ-LAREDO et al., 2015; ONUORAH, 2000; PAES et al., 2016; SABLÍK et al., 2016; SCHULTZ; NICHOLAS, 2000; TASCIOGLU et al., 2012).

Entre as várias abordagens que têm sido realizadas para o desenvolvimento de novos produtos preservativos para madeira, o entendimento sobre o papel que certos extrativos desempenham no cerne de determinadas espécies madeireiras tem ganhado destaque (ANTWI-BOASIAKO; DAMOAH, 2010; KIRKER et al., 2013). Assim, com base em estudos sobre a durabilidade natural da madeira e sua relação com a quantidade e tipo de extrativos, principalmente aqueles presentes no cerne, várias pesquisas têm testado o potencial dos extrativos da madeira como potenciais preservativos naturais contra organismos xilófagos como fungos e térmitas (HASSAN et al., 2019; SALEM et al., 2016; SINGH; SINGH, 2012).

A madeira de teca (*Tectona grandis* Linn. f.) é mundialmente apreciada por sua cor e elevada durabilidade natural contra agentes bióticos e abióticos. Grande parte dessas características ocorre em função da quantidade e tipo de extrativos presentes no cerne da mesma (BHAT et al., 2005; DUNGANI et al., 2012; THULASIDAS; BHAT, 2007).

Nesse sentido, alguns compostos presentes no cerne da madeira de teca, principalmente os derivados de quinonas (antraquinonas e naftoquinonas), têm sido fontes de estudo por causa do potencial termiticida e fungicida atribuído a estes compostos (DUNGANI et al., 2012; HASSAN et al., 2017; 2019; KRISHNA; NAIR, 2010; LUKMANDARU; SALEM et al., 2016; TAKAHASHI, 2009; THÉVENON et al., 2001).

No entanto, apesar da eficácia comprovada de algumas substâncias tidas como ambientalmente corretas para o tratamento da madeira, informações sobre a viabilidade de uso dessas substâncias são escassas (ADEGEYE; OGUNSANWO; OLAJUYIGBE, 2009; BRAND; ANZALDO; MORESCHI, 2006; HASSAN et al., 2017). A maioria dos estudos utiliza pequenas amostras de madeira para realizar extrações laboratoriais em pequena escala, sem considerar a utilização de métodos otimizados para a extração em maiores quantidades, nem verificar a viabilidade e disponibilidade de fontes para a obtenção desses extratos (GONZÁLEZ-LAREDO et al., 2015; HASSAN et al., 2019; LIU, 2004; THÉVENON et al., 2001).

Em pesquisa anterior os extratos obtidos do cerne externo da madeira de teca apresentaram potencial de uso em outras madeiras de menor durabilidade (BROCCO et al., 2017). No entanto a viabilidade da obtenção desses compostos precisa ser verificada de fontes reais de resíduos da indústria madeireira.

A total valorização de produtos e resíduos de madeira é uma prática comum e já realizada em vários países. De acordo com Leonardo, Rocha e Mendoza (2015) a utilização de resíduos para o desenvolvimento de produtos químicos é de interesse para outras indústrias e agregam valor às cadeias produtivas da indústria madeireira. Um exemplo disto são os derivados de quinonas, presentes no cerne de algumas madeiras, que têm sido reportadas com potenciais usos em diversas indústrias como têxtil (corantes), fármacos e cosméticos (LEONARDO; ROCHA; MENDOZA, 2015; ROWE, 1989; SOUZA et al., 2007; ZANONI; YAMANAKA, 2016).

Portanto, a utilização de resíduos do processamento industrial de madeiras de elevada durabilidade natural, como a teca, deve ser considerada nas pesquisas com produtos naturais como uma forma viável para a obtenção de extratos com potencial de uso em indústrias de diversos setores em quantidades consideráveis (MELLOUK et al., 2008; ROYER et al., 2012; SABLÍK et al., 2016; SINGH; SINGH, 2012).

Assim, faz-se necessário a intensificação de pesquisas que visem estudar o potencial de compostos obtidos de fontes viáveis e renováveis, bem como a eficácia de fixação desses produtos frente as condições de envelhecimento acelerado, a fim de se obter compostos mais efetivos, e ambientalmente viáveis.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a eficácia de extratos provenientes do resíduo do processamento industrial da madeira de teca (*Tectona grandis*) como um preservativo natural para madeiras.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Caracterizar quantitativamente a solubilidade dos extrativos dos resíduos do processamento industrial da madeira de teca;
- b) Determinar por meio de ensaio de inibição fúngica a fungos xilófagos as concentrações a serem utilizadas para o tratamento da madeira;
- c) Analisar a composição química dos principais extratos obtidos;
- d) Realizar o tratamento preservativo na madeira de *Pinus taeda* e avaliar a retenção das amostras, a partir das soluções obtidas;
- e) Avaliar, por meio da colorimetria quantitativa, a influência dos extrativos nos padrões colorimétricos da madeira tratada e estabilidade da cor após ensaios envelhecimento acelerado; e
- f) Verificar a influência dos extratos selecionados e sua resistência ao envelhecimento acelerado na durabilidade natural da madeira de *P. taeda* a fungos e térmitas xilófagos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DETERIORAÇÃO E PROTEÇÃO DA MADEIRA

A utilização da madeira como recurso renovável vem crescendo nos meios rural e urbano e representa um importante fator para o desenvolvimento do setor florestal. Dos 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas no Brasil em 2016, as áreas de eucalipto (72%) e pinus (20%) representam a maior parte (Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ, 2017). Dessa área total, os segmentos industriais de painéis de madeira, pisos laminados e produtos sólidos representam um total de 10%.

Por ser um material biológico a madeira está sujeita a deterioração, seja ela causada por agentes bióticos ou abióticos. De modo geral, o lenho de ambos os gêneros utilizados nos segmentos industriais citados possui baixa resistência natural a organismos xilófagos e necessita de algum tratamento ou conjunto de medidas para conferir maior proteção durante seu uso, aumentando assim sua vida útil nos diversos meios em que é utilizada.

De acordo com Clausen (2010), Oliveira et al. (1986) e Schmidt (2006), os principais organismos capazes de deteriorar a madeira são os fungos, insetos, e organismos marinhos, com destaque para os dois primeiros. Dentre os insetos, as térmitas, popularmente chamadas de cupins, são os responsáveis pelos maiores danos causados à madeira, com destaque para as térmitas subterrâneas, que se sobressaem em relação às de madeira seca e úmida, e estão envolvidos na maioria dos estudos de deterioração da madeira (CLAUSEN, 2010; GASCÓN-GARRIDO et al., 2013; PAES; MELO; LIMA, 2007).

Em uma escala mais ampla os fungos são os causadores dos maiores danos estruturais na madeira. Os mesmos podem ser classificados em emboloradores, manchadores e apodrecedores, sendo esta última classe aquela que consegue causar danos nos componentes estruturais da parede celular por meio de sistemas enzimáticos (OLIVEIRA et al., 1986; SCHMIDT, 2006).

De acordo com os autores citados, os fungos apodrecedores estão classificados em três grupos: fungos de podridão branca (*white-rot fungi*), capazes de atacar a celulose, hemicelulose e lignina; fungos de podridão parda (*brown-rot*

fungi), com seletividade para a celulose e hemicelulose da parede celular; e fungos de podridão mole (*soft-rot fungi*), que são geralmente menos agressivos, atacam os três constituintes primários da parede celular e causam danos superficiais à madeira.

Com a escassez de espécies tradicionais de elevada resistência natural e o aumento das florestas plantadas de eucalipto e pinus, vários sistemas e produtos preservativos têm sido desenvolvidos ao longo do tempo para proteger a madeira contra o ataque desses organismos. De acordo com Richardson (1993), os sistemas de preservação se baseiam na eliminação de condições essenciais e, ou, pela aplicação de produtos que impeçam o desenvolvimento dos xilófagos na madeira.

Basicamente, os métodos de preservação da madeira mais utilizados até hoje são aqueles em que produtos são impregnados na madeira para combater a ação dos organismos xilófagos. Os métodos mais usuais estão classificados em dois tipos: processos que não utilizam pressão, também conhecidos por caseiros, em que os procedimentos e equipamentos variam amplamente, e aqueles que utilizam pressão, também conhecidos por industriais, em que a madeira é impregnada em ambientes fechados sob vácuo e pressão (LEPAGE et al., 1986; LEBOW, 2010).

Na prática comercial, os processos que utilizam pressão para impregnar a madeira com preservativos são os mais utilizados. Existe uma ampla variação dos processos com pressão, porém o princípio geral é o mesmo. Dentre os mais utilizados está o processo de célula-cheia (Bethell), que é empregado quando se deseja a retenção de uma máxima quantidade de preservativo, além de uma penetração uniforme na peça (LEBOW, 2010).

Existem ainda aqueles chamados de tratamentos não convencionais, que têm por objetivo a utilização de produtos e métodos para produzir alterações mais ou menos profundas na estrutura química da parede celular da madeira. Dentre estes podem-se destacar o tratamento térmico, controle biológico e o uso de alguns produtos usados para a estabilização dimensional da madeira.

A melhoria da resistência biológica da madeira em função do tratamento térmico já está bem conhecida e ocorre em função da redução significativa das hemiceluloses, geração de novos compostos tóxicos e modificação dos polímeros da parede celular, dificultando o reconhecimento do substrato pelos fungos (CALONEGO; SEVERO; FURTADO, 2010; PAES et al., 2015; PALANTI; SUSCO, 2004; RINGMAN; PILGÅRD; RICHTER, 2014; WEILAND; GUYONNET, 2003).

O uso do controle biológico para proteção da madeira surgiu como alternativa à utilização dos produtos químicos e para controle de peças atacadas, apresentando grandes vantagens econômicas e ambientais. Esta alternativa se baseia no uso de organismos antagonistas e seus compostos produzidos para combater os xilófagos capazes de atacar a madeira, como é o caso de pesquisas que estudam a utilização do *Trichoderma* spp. e outros organismos antagonistas para verificar a melhoria da resistência natural da madeira contra fungos xilófagos (LEPAGE et al., 1986; MORTABIT; ZYANI; KORAICHI, 2015; SCHUBERT; FINK; SCHWARZE, 2008; SUSI et al., 2011).

O uso de substâncias químicas ainda é o método mais usado e eficiente para aumentar a durabilidade natural da madeira. A maioria dos produtos utilizados incluem em suas formulações substâncias danosas ao homem e ao meio ambiente como arsênio, cromo, cobre e boro, exigindo cuidados com o manuseio, dosagem, vazamentos e disposição da madeira tratada ao fim da vida útil (BRAND; ANZALDO; MORESCHI, 2006; KARTAL et al., 2015).

De acordo com Brand, Anzaldo e Moreschi (2006) e Vidal et al. (2015), o arseniato de cobre cromatado (CCA) é considerado um dos produtos mais usados e é altamente eficaz para o tratamento preservativo da madeira. No entanto, o reconhecimento dos riscos à saúde humana e os potenciais danos ao meio ambiente levaram a adoção de restrições quanto ao seu uso.

Apesar de ainda não existirem restrições quanto ao uso do CCA no Brasil, o uso de preservativos de madeira que incluem arsênio, cromo e outros metais pesados diminuíram consideravelmente na maioria dos países da Europa e na América do Norte em função dos potenciais riscos citados (LIN et al., 2009; VIDAL et al., 2015). Além disso, a reutilização de produtos e resíduos de madeira é uma prática muito forte na maioria desses países, tornando inviável a utilização da madeira contaminada com tais substâncias, além de tornar caro seu pré-tratamento (WANG et al., 2016).

Todas essas preocupações em torno dos riscos ambientais pelos produtos preservativos para madeiras têm despertado o interesse sobre produtos livres de metais pesados como cromo e arsênio para o tratamento da madeira, principalmente pelo uso de substâncias naturais que possuam efeito tóxico aos diversos organismos capazes de deteriorar a madeira em seus meios de utilização (BOLIN;

SMITH, 2011; BRAND; ANZALDO; MORESCHI, 2006; CORNELIUS; OSBRINK, 2015).

Portanto, o desenvolvimento de pesquisas sobre novas substâncias para a área de preservação de madeiras passa por uma importante etapa e diversas pesquisas vêm estudando o efeito de substâncias naturais, extraídas de diversas espécies florestais naturalmente duráveis, contra organismos xilófagos (DUNGANI et al., 2012; LUKMANDARU, 2013; MEDEIROS et al., 2016; STIRLING; KUS; UZUNOVIC, 2016; YEN et al., 2008).

As principais substâncias pesquisadas incluem óleos essenciais e os extrativos da madeira, no entanto a maioria dessas pesquisas testa o efeito dessas substâncias de forma isolada, como por exemplo em testes de inibição em meio de cultura, sendo poucas as que estudam a eficácia do tratamento preservativo com tais produtos (SABLÍK et al., 2016; SYOFUNA; BANANA; NAKABONGE, 2012; TASCIOGLU et al., 2012).

De acordo com Hunt e Garratt (1967) os fungos que crescem em experimentos em que o substrato é apenas o meio de cultura, certas enzimas deixam de ser lançadas quando comparado ao ataque desses fungos na madeira. Portanto para resultados mais realísticos sobre a eficácia de determinados compostos naturais, os mesmos devem ser testados após sua impregnação na madeira.

2.2 APLICAÇÃO DOS EXTRATIVOS DA MADEIRA

Grande parte dos vegetais produz uma gama de compostos com propriedades tóxicas aos agentes xilófagos (ROWE, 1989). A utilização desses compostos naturais extraídos de fontes como frutos, folhas, casca e madeira tem sido bastante estudada e parece ser uma opção atraente para a proteção da madeira sob as perspectivas de redução de impactos ambientais.

Apesar dos avanços e pesquisas sobre o potencial que tais substâncias naturais apresentam, ainda é necessário tempo, estudos, melhoria dos processos, obtenção de fontes viáveis e investimentos para que as mesmas possam efetivamente substituir preservativos eficazes como o CCA (LIU, 2004; SCHULTZ; NICHOLAS, 2000; SINGH; SINGH, 2012).

Um dos fatores que impulsionou a pesquisa pela utilização de produtos naturais para o tratamento da madeira é o conhecimento existente sobre espécies florestais de elevada resistência natural (SINGH; SINGH, 2012). A durabilidade natural da madeira contra organismos xilófagos é atribuída principalmente em função da quantidade e tipo de extrativos, principalmente aqueles presentes no cerne.

Os extrativos são considerados compostos secundários ou não estruturais que influenciam fortemente a durabilidade natural de certas madeiras, e podem ser removidos da madeira principalmente com a utilização de água e diversos solventes orgânicos como etanol, tolueno, acetona e hexano (HILLIS, 1989; OLIVEIRA et al., 2005). A remoção dos extrativos da madeira, verificado por Oliveira et al. (2005), teve influência marcante na durabilidade da mesma, em que as extrações em etanol:tolueno, diclorometano, metanol e a remoção total dos extrativos foram as responsáveis pelo aumento da perda de massa causada por fungos xilófagos em diversas madeiras testadas.

De acordo com Hillis (1971, 1989), o cerne é definido como as camadas interiores da madeira que, na árvore em crescimento, deixaram de conter células vivas. Durante a sua formação ocorrem mudanças químicas e fisiológicas, e substâncias tóxicas que conferem durabilidade a certas madeiras podem ser produzidas (LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2009; MOYA; BOND; QUESADA, 2014).

Certos extratos obtidos de madeiras de elevada durabilidade natural quando aplicados para o tratamento da madeira podem não apresentar desempenho satisfatório (FERAYDONI; HOSSEINIHASHEMI, 2012). Isso ressalta a importância de obter extratos eficazes e nas concentrações adequadas. Além disso, certos aditivos quando combinado aos extratos obtidos podem melhorar sua eficácia e retenção na madeira, indicando que o efeito sinérgico de determinadas substâncias é uma abordagem a ser pesquisada para os extratos obtidos (BRAND; ANZALDO; MORESCHI, 2006; GONZÁLEZ-LAREDO et al., 2015; ROYER et al., 2012; SINGH; SINGH, 2012).

Assim, os estudos com a utilização de extrativos provenientes do cerne de espécies florestais de elevada resistência natural vem se intensificando e apresentando resultados promissores. Na Tabela 1 são apresentadas várias abordagens que têm sido realizadas na exploração e utilização de substâncias extraídas da madeira com água quente e diversos solventes orgânicos.

Tabela 1 – Resumo das principais abordagens no uso de extrativos para proteção da madeira e inibição de organismos xilófagos.

Fonte / Extração	Usos	Resultados/Referência
Cerne de <i>Milicia excelsa</i> e <i>Erythrophleum suaveolens</i> / Metanol	Fungos xilófagos - Tratamento da madeira sob vácuo	Ganhos de até 88% na resistência. Onuorah (2000).
Cerne de teca / Acetona	Fungos de podridão parda – Tratamento da madeira sob pressão.	Até 83% de ganho de resistência. Thévenon et al. (2001)
Casca de <i>Pinus brutia</i> / Água quente	Fungos xilófagos – impregnação de partículas/painel aglomerado	Aproximadamente 70% de ganho de resistência. Nemli et al. (2006).
Cerne de <i>Calocedrus macrolepis</i> / Etanol	Fungos xilófagos, patogênicos e emboloradores – Atividade antifúngica em meio de cultura	Inibição fúngica de até 72%. Yen et al. (2008).
Folha, frutos, casca e madeira <i>Cerbera odollam</i> / Hexano, etanol, metanol e acetato de etila	Térmitas - Tratamento da madeira e impregnação de partículas/painel aglomerado	42% de perda de massa na madeira com extratos em metanol e 9% para os extratos das flores. Hashim et al. (2009).
Cascas de <i>Erythrophleum suaveolens</i> , <i>Azadirachta indica</i> e folhas de <i>Chromolaena odorata</i> / Água fria	Teste dos efeitos sinérgicos dos extratos para o tratamento da madeira – Ensaio de campo	Não houve efeito sinérgico. Ganho de 82% de resistência nos extratos de <i>E. suaveolens</i> . Antwi-Boasiako e Damoah (2010).
Cerne de <i>Juniperus virginiana</i> / Metanol	Fungos xilófagos – Atividade antifúngica em meio de cultura	Inibição completa na concentração 2,5 mg mL ⁻¹ . Mun e Prewitt (2011).
Cerne de <i>Juglans regia</i> / Água quente, metanol e etanol	Teste dos efeitos sinérgicos com ACC e ácido bórico. Fungos xilófagos (Tratamento da madeira por imersão)	Não houve efeito sinérgico e os extrativos não promoveram proteção aceitável. Feraydoni e Hosseinihashemi (2012)
Cerne de teca / éter de petróleo, acetona:água (9:1), etanol/água (8:2)	Atividade termiticida dos extratos. (Impregnação em discos de papel)	As maiores taxas de mortalidade e inibição da alimentação foram promovidas pelos extratos em acetona:água. Dungani et al. (2012).
Cerne de <i>Acacia mollissima</i> e <i>Shinopsis lorentzii</i> e casca de <i>Pinus brutia</i> / Água quente	Térmitas e fungos xilófagos - Impregnação na madeira sob vácuo	Resultados promissores para os extratos de <i>A. mollissima</i> e <i>S. lorentzii</i> na concentração de 12%. Tascioglu et al. (2012, 2013).

Continua ...

Tabela 1. Continuação ...

Fonte / Extração	Usos	Resultados/Referência
Alburno e cerne de sete espécies amazônicas / metanol	Fungos xilófagos – tratamento da madeira sob pressão.	Perdas de massa menores que 5% para os extratos de <i>Andira surinamensis</i> e <i>Handroanthus serratifolius</i> . Rodrigues et al. (2012).
Cerne de <i>Milicia excelsa</i> , <i>Markhamia lutea</i> , e <i>Albizia coriaria</i> / hexano, acetona e água	Térmitas – tratamento da madeira por imersão	Amostras controle completamente destruídas e perda de massa próximas de 20% para os extratos em acetona. Syofuna, Banana e Nakabonge (2012).
Cerne de teca / Hexano, acetato de etila e metanol	Fungos xilófagos – Atividade antifúngica dos extratos puros e isolados em meio de cultura	Baixa inibição fungica para os extratos testados, taxas de crescimento acima de 50%. Lukmandaru (2013).
Cascas de <i>Cedrus libani</i> , <i>Populus tremula</i> , <i>Castanea sativa</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i> , <i>Alnus glutinosa</i> e <i>Fagus orientalis</i> / Etanol:benzeno (1:2)	Fungos xilófagos – Atividade antifúngica em meio de cultura	Nas menores concentrações os extratos de <i>P. tremula</i> e <i>C. sativa</i> inibiram em 80% o crescimento fúngico. Özgenç e Durmaz (2016).
Casca e cerne de <i>Robinia pseudoacacia</i> e cerne de <i>Pterocarpus soyauxii</i> / metanol:água (1:1)	Fungos xilófagos - Impregnação na madeira sob vácuo	71% de ganho de resistência em relação ao controle, que obteve 44% de perda de massa. Sablík et al. (2016).
<i>Pinus rigida</i> (cerne), <i>Eucalyptus camaldulensis</i> (folhas) e <i>Costus speciosus</i> (rizomas) / Metanol e água	Fungos emboloradores – Inibição do crescimento fúngico em placa de Petri com amostras tratadas por imersão	Apenas o extrato do cerne apresentou inibição apreciável. Salem et al. (2016).
Extratos isolados do cerne de <i>Thuja plicata</i> (Hinokitiol e ácido dehidroperílico) / etanol	Fungos xilófagos – Inibição do crescimento fúngico em placa de Petri com amostras tratadas por imersão	As amostras tratadas com Hinokitiol inibiram por completo a maioria dos fungos testados. Stirling, Kus e Uzunovic (2016).

2.3 EXTRATIVOS DA MADEIRA DE TECA

Nativa do sudeste asiático e subcontinente Índico, a teca (*Tectona grandis* L.f.) pertence à família botânica Lamiaceae e é valorizada mundialmente pela qualidade de sua madeira. As principais características que tornam sua madeira

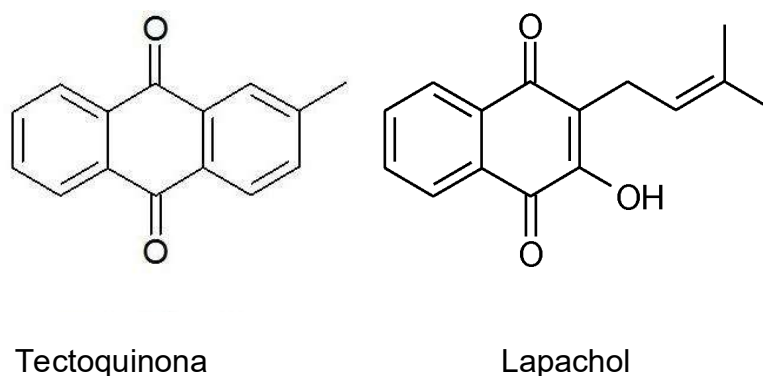
valiosa são estética, textura, estabilidade dimensional, resistência a intempéries e principalmente sua reconhecida durabilidade natural aos organismos xilófagos (KOKUTSE et al., 2006; MOYA, BOND, QUESADA, 2014).

A durabilidade natural da madeira de teca, aspecto marcante da espécie, está atribuída principalmente a alguns extrativos presentes no cerne, conferindo à sua madeira resistência aos ataques provocados principalmente por fungos, térmitas e perfuradores marinhos (LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2009; MYO AUNG, 1988; PREMRASMI; DIETRICH, 1967).

Dentre os compostos presentes nos extrativos do cerne da teca, as quinonas e seus derivados, são relatados por serem responsáveis pelos efeitos tóxicos contra organismos xilófagos (LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2009; RUDMAN et al., 1958; SANDERMANN; SIMATUPANG, 1966). Vários estudos têm demonstrado que esses compostos, mesmo em pequenas quantidades (menor que 2%), desempenham um fator chave para a elevada durabilidade natural da madeira de teca (MYO AUNG, 1988; RUDMAN; DA COSTA; GAY, 1967; THULASIDAS; BHAT, 2007).

Mais precisamente as antraquinonas e as naftoquinonas, como a tectoquinona e o lapachol (Figura 1), respectivamente, têm sido reportadas por desempenhar esse papel na durabilidade da madeira de teca (RUDMAN et al., 1958). Além disso, outras substâncias também têm sido reportadas para a madeira de teca como tectol, dehidroTECTOL, dioxilapachol, isodioxilapachol, 1,4-naftoquinona e esqualeno (KOKUTSE et al., 2006; LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2009).

Figura 1 – Estrutura dos dois principais derivados das quinonas responsáveis pela resistência natural da madeira de teca, tectoquinona (2-metil-9,10-antraquinona) e lapachol (2-hidroxi-3-(3-metil-2-butenil)-1,4-naftoquinona).



Vários estudos têm demonstrado que esses compostos, mesmo em pequenas quantidades (menor que 2%), desempenham um fator chave para a elevada durabilidade natural da madeira de teca (MYO AUNG, 1988; RUDMAN et al., 1967; THULASIDAS; BHAT, 2007).

Outros extrativos, como terpenos e ácidos graxos, alto teor de lignina, baixo teor de pentosanas, e a presença do caucho, espécie de látex parcialmente responsável pela estabilidade dimensional, também contribuem em partes para a resistência natural da teca (SANDERMANN; SIMATUPANG, 1966; THÉVENON et al., 2001; YAMAMOTO; SIMATUPANG; HASHIM, 1998).

A madeira de teca tem um teor de extrativo total médio de 10%, com base em madeira seca, podendo atingir valores maiores nas partes do cerne. Os estudos têm demonstrado que a resistência de várias amostras de teca aumenta com o aumento da concentração de tectoquinona, principalmente em relação à resistência contra térmitas xilófagas, pelo fato da maioria das antraquinonas encontradas terem maior eficiência contra as térmitas, porém, de forma isolada são pouco eficazes na inibição fúngica (MYO AUNG, 1988; PREMRASMI; DIETRICH, 1967; RUDMAN et al., 1958).

Entretanto, as naftoquinonas apresentam caráter fungicida, fazendo com que os compostos pertencentes a essa classe de quinonas influenciem mais na resistência ao apodrecimento do que o teor de extrativos totais ou de tectoquinonas, indicando que a presença deste e outros compostos individuais, mesmo em pequenas quantidades, é fundamental para o desempenho da resistência natural da madeira (MYO AUNG, 1988; THULASIDAS; BHAT, 2007).

Sabe-se que os compostos secundários presentes na madeira têm grande influência na sua resistência natural, no entanto outras características como local de plantio, condições edafoclimáticas, variações genéticas, tipo e espécie de organismos xilófagos, idade, posição da madeira e a interação entre esses fatores têm grande importância (BHAT et al., 2005; LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2008, 2009).

Com relação à posição da madeira, o cerne externo tem sido relatado como a posição mais resistente ao ataque de organismos xilófagos na madeira de teca e em várias outras madeiras (BHAT et al., 2005; KOKUTSE et al., 2006; MOTTA et al., 2013; PAES et al., 2015). No entanto a relação entre os extrativos, seus compostos

individuais e a durabilidade natural da madeira ainda não está completamente elucidada.

Em estudos iniciais sobre a resistência natural da madeira de teca, Da Costa et al. (1958) relataram não existir uma tendência clara sobre a influência da idade na resistência a fungos xilófagos, no entanto, o cerne proveniente de árvores mais jovens se mostrou mais susceptível ao ataque de térmitas. Em estudos seguintes, Rudman e Da Costa (1959) e Rudman et al. (1967) concluíram que o cerne externo de árvores jovens de teca (13, 14 anos), possuía menor resistência tanto a fungos, quanto a térmitas xilófagos, quando comparado com exemplares em idades mais avançadas.

Outra hipótese levantada por Rudman et al. (1967) sobre variabilidade na resistência natural do cerne da madeira de teca é que pode ocorrer a degradação ou envelhecimento dos extrativos com a idade, levando a uma maior susceptibilidade da deterioração da parte interna do cerne. No entanto Lukmandaru e Takahashi (2009) não observaram esse efeito de envelhecimento ou perda do efeito tóxico no cerne interno de teca com 51 anos de idade.

A produção e qualidade dos extrativos responsáveis pela resistência natural da madeira de teca, segundo Niamké et al. (2011, 2012), é afetada negativamente na madeira juvenil, levando a uma alta variabilidade da resistência natural nessas regiões. A variação da posição radial é outro fator importante que afeta a durabilidade do cerne da teca.

O mesmo foi observado por Latorraca et al. (2011) ao caracterizarem a composição química e a durabilidade natural do cerne juvenil e adulto da madeira de *Robinia pseudoacacia*. O cerne do lenho juvenil apresentou conteúdo significativamente menor de extrativos e substâncias fenólicas do que no cerne do lenho adulto e consequentemente menor resistência à degradação pelos fungos *Coniophora puteana* (podridão parda) e *Coriolus* (= *Trametes*) *versicolor* (podridão branca).

Observações semelhantes foram realizadas por Cookson e McCarthy (2013) ao estudarem o cerne externo de árvores jovens de várias espécies e eucalipto, após 9 anos de exposição em ensaio de campo, fora do contato com o solo. Para os referidos autores, o cerne externo proveniente de árvores com 30-50 anos de idade apresentou resistência natural semelhante ao cerne de árvores com 80 anos de idade ou mais. No entanto, árvores com idade inferior a 25 anos apresentaram

propriedades de resistência natural reduzidas para o cerne externo. Por ser constituído de madeira juvenil, o cerne de tais árvores é mais susceptível ao ataque de fungos e térmitas. Estes autores concluíram que idades de 25 a 30 anos seriam necessárias nos plantios para se obter uma madeira com maior durabilidade natural.

Para a distribuição radial das quinonas presentes nos extratos de teca de várias idades (8, 30 e 51 anos), Lukmandaru e Takahashi (2009) observaram maior teor de quinonas totais (1%) para árvores mais adultas e na posição externa do cerne (8% de extrativos totais). Compostos como lapachol, tectoquinona, deoxilapachol e isodeoxilapachol foram encontrados no alburno em níveis inferiores a 0,05% sem diferença significativa entre as idades e em níveis superiores no cerne (0,10-0,30%), porém sem uma forte diferenciação entre as posições e idades.

Ainda segundo os autores citados, os derivados de quinona foram positivamente correlacionados com o teor de extrativos totais, com destaque para o teor de isodeoxilapachol. Com relação à resistência natural a térmitas xilófagos, apenas a tectoquinona e o isodeoxilapachol apresentaram correlação significativa com a mortalidade e perda de massa.

Apesar dos vários relatos na literatura sobre as atividades inibidoras das quinonas (HAUPT et al., 2003; RUDMAN, GAY, 1963; THÉVENON et al., 2001), Thulasidas e Bhat (2007) mencionam que o papel do teor de extrativos totais e seus componentes químicos individuais na resistência natural da madeira de teca ainda precisam ser estudados. Para os referidos autores a quantificação de tectoquinona e naftoquinona indicou que o teor deste último foi mais importante que o conteúdo de extrativos totais e é o principal composto responsável pela resistência a fungos xilófagos, no entanto não foram estudadas suas variações radiais na madeira.

Apesar de estudos anteriores (MYO AUNG, 1988; PREMRASMI; DIETRICH, 1967; RUDMAN et al., 1958) relatarem que as antraquinonas têm forte influência na inibição do ataque de térmitas na madeira, Niamké et al. (2011, 2012) observaram altas correlações entre a resistência a fungos xilófagos e os teores de tectoquinona ($r = 0,79$) e 2-(Hidroximetil)-antraquinona ($r = 0,82$), além de uma nova naftoquinona isolada do cerne de teca e identificada como 4',5'-Dihidroxi-epiisocatalponol, responsável pela maior correlação ($r = 0,90$).

Os compostos citados até aqui, como antraquinonas e naftoquinonas, são encontrados em pequenas quantidades na madeira e desempenham papel fundamental na sua resistência natural e, portanto, podem ser fontes de estudos

futuros na área de proteção da madeira, e tem potencial de uso principalmente contra insetos xilófagos.

2.4 MECANISMO DE ATUAÇÃO DOS EXTRATIVOS CONTRA INSETOS XILÓFAGOS

A deterioração da madeira por insetos xilófagos é um assunto de grande importância econômica e é um campo da ciência que vem sendo estudado há muito tempo. A celulose é o alimento fundamental e universalmente usado pelas térmitas, e a madeira, pelo seu alto teor de celulose é o alimento preferido por um grande número de espécies (OLIVEIRA et al., 1986; SHELTON; GRACE, 2003).

Entretanto é uma substância de difícil digestão, sendo necessário um poderoso arsenal enzimático. Na madeira, a celulose está ligada a lignina, o que dificulta ainda mais sua utilização. Portanto, a celulose somente tem valor nutritivo para aqueles organismos providos de um adequado complexo enzimático capazes de realizar sua digestão (BREZNAK, 1982; OLIVEIRA et al., 1986).

A maioria dos estudos sobre a resistência natural da madeira se limita registrar as características de resistência da madeira atacada, sendo escassos os estudos sobre os mecanismos dos insetos e razões fisiológicas e químicas para o diferente comportamento das térmitas frente a diversas espécies de madeiras (BECKER, 1971).

A maior parte das térmitas estão associadas a protozoários e bactérias, que se encontram localizados no intestino posterior destes insetos. Esses organismos têm um meio adequado a sua sobrevivência e fornecem ao inseto os produtos da degradação. No caso dos Rhinotermitidae (cupins subterrâneos) por exemplo, a assimilação da madeira ocorre pela mastigação e ruptura mecânica (e alguma ação enzimática) da madeira (celulose), e pelos protozoários e bactérias simbióticas encontradas no intestino posterior das térmitas (SHELTON; GRACE, 2003).

Algumas espécies de madeiras possuem extrativos que são desagradáveis, repelentes ou tóxicos para os insetos xilófagos. A ação desses compostos se diferencia conforme a espécie de madeira, além disso, pesquisas tem relatado que um mesmo extrativo age de forma diferente entre as espécies de insetos xilófagos (CARTER; SMYTHE, 1974; OLIVEIRA et al., 1986).

Os extrativos podem ser diretamente tóxicos para as térmitas ou indiretamente tóxicos, eliminando, por exemplo, os protozoários simbióticos essenciais no intestino posterior. Outros extrativos podem ser repelentes ou desagradáveis para os cupins, inibindo assim a alimentação e causando a morte por inanição, enquanto nutrientes, como açúcares ou proteínas, podem causar estímulos para a alimentação (CARTER et al., 1989; FRAZIER; CHYB, 1995).

As substâncias capazes de alterar o comportamento dos insetos causando irritação e repelência e até a morte dos mesmos é um reflexo dos sistemas quimiossensoriais que os mesmos possuem (AVÉ, 1995). De acordo com Raya-González et al. (2014), alguns extrativos são capazes de afetar o sistema nervoso central e atuar como bloqueadores de diversas funções. De acordo com os referidos autores, a repelência, por exemplo, é pela avaliação sensorial do inseto causando repulsão na presença do composto, é diferente da irritação, que é causada pelo desconforto fisiológico em contato direto ou pela presença de substâncias voláteis nos compostos.

Ambos os comportamentos impedem que o inseto permaneça sobre o substrato alimentar e reduzem a quantidade de tempo que esse teria para se alimentar no local. Além disso, mesmo após a ingestão de grandes quantidades desses compostos, a repelência é observada na forma de mecanismo de aversão alimentar, ou seja, o incômodo resultante da ingestão do substrato tratado leva os insetos a selecionar outras fontes de alimento após a recuperação (AVÉ, 1995).

O ato de consumo alimentar dos insetos é precedido da locomoção combinada com orientação. A percepção de um substrato como fonte de alimento é conseguida por meio da estimulação visual e olfativa, que são levadas ao sistema nervoso central (SNC), gerando uma excitação por determinada fonte de alimento (Tabela 2), enquanto a detecção de substâncias desagradáveis pode causar ataques mais curtos ou até mesmo interrupção da alimentação (FRAZIER; CHYB, 1995).

Tabela 2 – Estágio de aquisição de alimento pelos insetos e seus respectivos mecanismos fisiológicos e alvos da inibição alimentar.

Mecanismos fisiológicos	Aquisição de alimentos / processamento	Provável alvos da inibição alimentar
<u>Mecanismos pré-ingestão</u>		
Entradas sensoriais múltiplas Processamento SNC	Orientação	---
Predominância de entradas quimiossensoriais Processamento do SNC Movimento do aparelho bucal	Seleção	Quimiossensores e Células acessórias
<u>Mecanismos de ingestão</u>		
Entradas quimiossensoriais e mecânicas Processamento do SNC Salivação Movimento do aparelho bucal	Ingestão	Células quimio-sensoriais e acessórias Músculos do intestino anterior Enzimas salivares Neurônios do SNC
<u>Mecanismos pós-ingestão</u>		
Entradas quimiossensoriais e mecânicas Processamento e resposta do SNC Válvula cardíaca Movimentos intestinais	Armazenamento	Receptores de estímulos mecânicos Inervações e músculos do intestino anterior Enzimas digestivas
Resposta enzimática Processamento bioquímico Movimentos intestinais	Digestão	Epitélio, músculos e inervações do intestino médio Enzimas digestivas Neurônios do SNC
Transporte de nutrientes	Absorção	Epitélio do intestino médio Intestino posterior e inervações Neurônios do SNC Sistema excretor
---	Metabolismo	Todos acima, mais vias bioquímicas e sistemas de transporte
---	Excreção	---

Fonte: Adaptado de Frazier e Chyb (1995).

De acordo com as etapas descritas na Tabela 2, a inibição pré-ingestiva estaria associada aos mecanismos fisiológicos envolvidos na orientação, pesquisa e seleção do alimento. A ação dos inibidores de alimentação pré-alimentares é rápida, ocorrendo dentro dos primeiros segundos ou minutos de contato com uma fonte de alimento potencial. Neste caso os inibidores de alimentação resultam em mensagens para o sistema nervoso central que sinalizam uma falta de aceitabilidade.

Os compostos inibidores ou dissuasivos da alimentação constituem uma classe de inibidores pré-ingestivos que agem através de receptores gustativos e provocam a rejeição do material, mudando o código sensorial de "aceitável" para "inaceitável" (FRAZIER; CHYB, 1995).

A inibição ingestiva envolve bloqueio de síntese, liberação ou ação das enzimas salivares e inervação da musculatura responsável pelo movimento dos apêndices da cabeça ou transporte de alimentos no esôfago e intestino anterior. Este processo tem um intervalo de tempo intermediário entre a inibição pré e pós-ingestão (FRAZIER; CHYB, 1995).

Em seguida, ainda de acordo com os autores citados acima, a inibição pós-ingestão envolve processos fisiológicos operando depois que o alimento já foi ingerido pelo inseto. Os efeitos, mais lentos, porém mais persistentes do que nos casos de inibidores pré-ingestivos e ingestivos, são conseguidos pela ação dos inibidores digestivos que atuam nas células epiteliais intestinais e bloqueiam a síntese, liberação e ação das enzimas digestivas. Os inibidores de respostas interferem nos processos neurais e hormonais, nos quais a operação do canal alimentar é controlada. Finalmente, os inibidores de processamento visam a atividade de processamento dentro do sistema nervoso central.

Na busca de métodos e produtos químicos eficazes e mais aceitáveis do ponto de vista ambiental, para a proteção contra organismos xilófagos, várias substâncias presentes em madeiras de resistência natural ao ataque de térmitas vêm sendo estudadas e utilizadas em madeiras susceptíveis a deterioração para repelir, atenuar ou matar tais organismos (BREZNAK, 1982; CARTER et al., 1989; GAZAL et al., 2014; ISMAYATI et al., 2016).

Os mecanismos de reação e orientação dos insetos não são influenciados apenas por substâncias repelentes ou tóxicas, mas também por substâncias atraentes na madeira. Substâncias como amido e álcoois são relatadas por desempenhar um papel importante como atrativo primário para alguns insetos xilófagos (BECKER, 1971).

De acordo com Sandermann e Dietrichs (1957) citados por Becker (1971) em estudos com a térmita *Reticulitermes flavipes*, a maioria dos compostos considerados dissuasivos ou tóxicos pertencem aos derivados de estilbenos, quinonas e piranos.

Em pesquisas sobre o efeito dos extrativos de madeira em térmitas do gênero *Nasutitermes* e *Coptotermes*, Rudman e Gay (1961, 1963) descobriram que compostos como antracenos, antraquinonas e xantonas não foram tóxicas para as térmitas testadas, no entanto impedem o ataque agindo como elementos de dissuasão.

Os princípios químicos de dissuasão e toxicidade de substâncias da madeira nos insetos ainda não são totalmente compreendidos. Tem-se verificado que nas madeiras em processo de deterioração existem substâncias atrativas aos cupins, enquanto em outros casos existem substâncias repelentes ou tóxicas (OLIVEIRA et al., 1986). Caso esse efeito seja com base em substâncias voláteis, a eficácia dissuasiva ou tóxica diminui durante o envelhecimento da madeira (BECKER, 1971).

A influência dos microorganismos sobre os insetos xilófagos é outro fato a ser levado em conta, uma vez que na maioria dos casos os insetos entram regularmente em contato com fungos e bactérias. Sob condições naturais, os insetos xilófagos são regularmente confrontados com microrganismos que habitam a madeira (OLIVEIRA et al., 1986).

De acordo com Becker (1971), os estudos pioneiros nessa área revelaram que as térmitas utilizam o micélio de fungos que colonizam a madeira como fonte de alimentação, sendo observado em ensaios de preferência alimentar a escolha pela madeira deteriorada à madeira sadia. Outros estudos citados pelo referido autor relatam que substâncias extraídas em água quente da madeira atacada pelo fungo *Gloeophyllum trabeum* foram responsáveis pela atração das térmitas *Reticulitermes flavipes*.

Ainda segundo Becker (1971), alguns ácidos e aldeídos produzidos por basidiomicetos em madeira atraem várias espécies de térmitas e levam a preferência do consumo. Testes com blocos de *Pinus* sp. expostos a várias espécies de ascomicetos e deuteromicetos resultaram em atratividade das térmitas. No entanto, Kamaluddin et al. (2017) encontraram efeito dissuasivo pelas substâncias produzidas na madeira pelo basidiomiceto *Fibroporia radiculosa*.

Muitas substâncias tóxicas provenientes do cerne de espécies tropicais já identificadas e testadas quanto à sua eficiência contra térmitas foram classificadas por possuir efeito dissuasivo. No entanto, existem exemplos para a reação diferente de vários insetos, como nos extrativos obtidos do cerne de coníferas (pinosilvina e tujaplicina). Pinosilvina mostrou alta eficácia contra o cupim de madeira seca *Cryptotermes brevis*, mas de baixa eficácia contra larvas de *Hyloterpes bajulus* e o contrário foi observado para a tujaplicina (BECKER, 1971; RUDMAN; GAY, 1963).

De acordo com Breznak (1982), tornou-se evidente que a toxicidade de algumas madeiras, e seus extrativos, para térmitas inferiores está relacionada com o seu efeito deletério sobre os protozoários do intestino posterior do inseto.

A verificação pelas populações de protozoários presentes no intestino das térmitas é uma análise importante para indicar o efeito de substâncias que permitem o ataque e posteriormente causam a morte desses insetos, uma vez que esses organismos não são afetados em madeiras de baixa resistência natural. No entanto, em madeiras que apresentam alta resistência natural a população de protozoários no intestino das térmitas pode ser eliminada com até uma semana, causando a morte das térmitas nas semanas seguintes (CARTER; SMYTHE, 1974).

Quando *Reticulitermes flavipes* foi alimentado com certas madeiras de reconhecida resistência natural, Mauldin et al. (1982) observaram que as populações de protozoários foram completamente eliminadas ou reduzidas drasticamente. Estudos posteriores revelaram que, para *R. flavipes*, os extrativos eficazes no controle do ataque de térmitas reduziram as populações de protozoários de 40.000/térmitas para menos de 500/térmitas em nove dias.

No estudo de Carter et al. (1989), cinco madeiras brasileiras foram arbitrariamente selecionadas para um estudo intensivo sobre as respostas de cupins aos constituintes de madeira. Os extratos de madeira foram testados quanto a propriedades tóxicas, repelentes, antiprotozoárias e inibição alimentar. Os efeitos mais adversos sobre a térmita *Coptotermes formosunus* foram causados por

extratos de *Cedrela odorata* (hexano) e *Ocotea cymbarum* (acetona). No entanto ambas as madeiras continham componentes termiticidas voláteis.

Os resultados da sobrevivência de cupins em testes alimentação forçada e de escolha indicam que os extratos de ambas as madeiras foram repelentes aos cupins. Os protozoários foram essencialmente eliminados em cupins que sobreviveram aos testes de alimentação forçada com extratos de *C. odorata* e foram reduzidos drasticamente em concentração mais elevada do extrato em metanol.

As duas espécies de madeira também diferiram em possíveis propriedades de inibição alimentar. Aparentemente, os extrativos de *O. cymbarum* não inibiram a alimentação após quantidades consideráveis das amostras serem consumidas após três semanas do ensaio de preferência alimentar.

De acordo com os autores citados, os compostos que eliminam protozoários simbióticos, mas não são diretamente tóxicos para os cupins são mais adequados para utilização como iscas em métodos de controle de cupins. Assim, se tais compostos não têm propriedades repelentes ou anti-alimentar, as térmitas podem passar o composto para outros membros de colônia aumentando a eliminação de protozoários essenciais. Assim, as térmitas morrem de fome e a colônia é gradualmente destruída.

Ao comparar o efeito de diferentes tratamentos com extratos aquosos do cerne de *Enterolobium cyclocarpum*, Raya-González et al. (2014) constataram alterações severas na microbiota intestinal dos térmitas testados. Além disso, após o contato inicial foi observado efeito repelente fazendo com que as térmitas se localizassem na periferia do local de ensaio. Estes autores concluíram que os componentes majoritários do extrato testado exerceram uma ação tanto de inibição alimentar como de repelência e realçaram o uso dos compostos testados para a aplicação em madeiras de baixa durabilidade natural como *Pinus* sp.

Os resultados encontrados por Hassan et al. (2017) corroboram com resultados expostos acima. Esses autores testaram extratos do cerne de várias madeiras e encontraram rápido efeito deletério nos protozoários do intestino posterior das térmitas subterrâneas *R. flavipes* e *Heterotermes indicola*, levando ao aumento expressivo da mortalidade. Dentre os extratos testados, estavam o da madeira de teca, composto majoritariamente por tectoquinona (24%) e esqualeno (28%). Os autores afirmaram que esses compostos tem potencial para o controle

desses organismos xilófagos, no entanto o efeito a longo prazo e em testes mais agressivo ainda precisa ser elucidado.

De acordo com Ismayati et al. (2016), as antraquinonas presentes nos extrativos da madeira de teca, em especial 2-metilantraquinona, tem forte efeito dissuasivo em térmitas da espécie *Reticulitermes speratus* e em altas concentrações podem apresentar efeito tóxico ao *R. flavipes* e repelente à térmita de madeira seca *Cryptotermes brevis*. Por outro lado, não possui efeito tóxico às térmitas subterrâneas *Coptotermes lacteus* e *Nasutitermes exitiosus*, agindo como inibidor da alimentação.

Resultados encontrados por Lukmandaru e Ogiyama (2005) também sugeriram que a alta mortalidade de térmitas observada em extrativos da madeira de teca pode ser causado pela metilantraquinona, que apresentou ter efeito tanto dissuasivo quanto tóxico.

Os resultados das pesquisas apresentadas mostram a natureza complexa dos fatores que atuam nos mecanismos dos insetos xilófagos e que determinam a resistência de uma madeira. Os extrativos da madeira afetam de diferentes maneiras várias espécies de xilófagos citadas e são necessários mais estudos com os diversos compostos presentes nos extrativos das madeiras de reconhecida durabilidade natural a fim de se conhecer seu efeito nos organismos xilófagos citados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 PROCEDÊNCIA, COLETA E AMOSTRAGEM

O material utilizado para a pesquisa foi proveniente dos resíduos gerados do processamento industrial da madeira de teca com idade de 33 anos, obtido da unidade de processamento da empresa Cáceres Florestal S.A., localizada no município de Cáceres, estado do Mato Grosso.

De acordo com estimativas da empresa, mais de 85% do volume dos resíduos gerados corresponde à serragem produzida no desdobro de toras. O percentual de casca incluído na serragem é correspondente ao desdobramento de $\frac{1}{4}$ da superfície rolante da tora, sendo inferior a 0,5% do volume de toras serrado. As toras utilizadas têm em média 33 cm de diâmetro e espessura da casca de até 1 cm, sendo desdobradas em sanduiche (desdobro em tábuas ou pranchas por meio de cortes paralelos à medula), ao serem descartadas três costaneiras com a casca.

A Cáceres Florestal S.A. estima desdobrar $5.000 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ de toras de teca. Considerando a espessura de corte da serra de 2,5 mm e a espessura média de tábuas e pranchas de 30 mm, a empresa estima gerar 7%, ou $350 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ de resíduos na forma de serragem (volume sólido). Ao considerar a conversão de madeira sólida em serragem, o volume de resíduos seria de aproximadamente $1.400 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ com densidade da serragem seca (granel) de 250 kg m^{-3} .

A serragem coletada (300 kg) foi enviada para o Laboratório de Biodeterioração e Proteção da Madeira (LBPM), Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM), Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAIE), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Jerônimo Monteiro, ES, onde foi seca ao ar, homogeneizada e quarteada para garantir a representatividade dos resíduos utilizados. Um total de 50 kg dos resíduos foi passado em conjunto de peneiras (10 e 50 *mesh*) para retirada de partículas maiores, outros resíduos e dos finos. A serragem classificada foi armazenada em sacos plásticos para a realização das extrações.

3.2 TEOR DE EXTRATIVOS

A fim de caracterizar o resíduo do processamento da madeira de teca, foram realizadas extrações para a quantificação dos extrativos presentes na serragem obtida. As mesmas foram realizadas conforme as especificações da *American Society for Testing and Materials* - ASTM para extrativos em água quente (ASTM D - 1110, 2008) etanol, metanol e acetona (ASTM D - 1107, 2008), e extrativos totais conforme a *Technical Association of the Pulp and Paper Industry* - Tappi T 264 cm-97 (1997).

Os teores de extrativos foram quantificados com base na massa seca das amostras antes e após as extrações. Foram utilizadas cinco repetições para cada solvente utilizado.

3.3 PRODUÇÃO DAS SOLUÇÕES PARA TRATAMENTO DA MADEIRA

Para a produção das soluções de tratamento as extrações foram realizadas em maior escala conforme descrito por Brocco et al. (2017) com algumas modificações. Desta forma, foram procedidas extrações iniciais em água quente (temperatura de ebulição) e extrações a frio em acetona, etanol e metanol.

As extrações em água quente foram realizadas em autoclave com capacidade de 48 litros, dentro de um recipiente cilíndrico, confeccionado em aço inox, com capacidade de 30 litros, durante o período de 3 horas.

As demais extrações foram realizadas a frio por maceração. Para cada 2kg de serragem foram adicionados 10 L de cada solvente (5:1). As extrações a frio foram realizadas em recipientes hermeticamente fechados, à temperatura ambiente durante um período de 48 horas, sendo o recipiente agitado manualmente em intervalos de 8 horas, por 5 min.

Após a extração, as soluções foram filtradas em tecido de algodão e na sequência em tela de aço inox com malha de 270 *mesh* (abertura de 0,053 mm) para a retirada de partículas finas. Os extratos foram concentrados em evaporador rotativo para recuperação do excesso dos solventes e obtenção do extrato concentrado, sendo o produto nessa fase chamado de extrato bruto. Para cada solvente foram realizadas extrações em 10 kg de serragem. Os extratos brutos

foram enviados para o *United States Department of Agriculture - Forest Service* (USDA-FS), *Forest Products Laboratory* (FPL), Madison, Wisconsin, Estados Unidos da América (EUA), para realização dos procedimentos descritos nos itens 3.4 a 3.8.

3.4 ENSAIO DE INIBIÇÃO E DEFINIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO

Os testes de inibição fúngica foram conduzidos na Unidade de Pesquisa em Durabilidade e Proteção da Madeira (RWU 4723) do FPL. Os testes foram realizados pelo método de discos de papel filtro de acordo com metodologia adaptada de Kligman e Rosensweig (1948) e Kirker et al. (2013).

Dos extratos brutos foram retiradas duas alíquotas de 10 mL de cada extrato e secas em estufa a 50 °C para cálculo do teor de sólidos. Em seguida, foram preparadas em pequenas quantidades (50 mL), diluições dos extratos em seus respectivos solventes de extração, variando nas concentrações de 0,5; 1; 2; 4 e 8% (m:v), com base em resultados obtidos por Brocco et al. (2017).

O inóculo micelial foi preparado em frasco Erlenmeyer de 250 mL pela inoculação asséptica de 100 mL de meio mínimo, contendo 2 g de NH_4NO_3 , 1,5 g de KH_2PO_4 , 0,5 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 10 g de glicose, 0,57 mg de H_3BO_4 , 0,036 mg de $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0,31 mg de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,039 mg de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0,018 mg de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0,051 mg de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e 1000 mL de água destilada.

Um fragmento de 5 mm obtido da borda de placa de Petri, com crescimento fúngico ativo em meio malte-ágar, do fungo de podridão branca *Irpex lacteus* (Fr.: Fr.) Fr. (Mad 517) e dos fungos de podridão parda *Neolentinus lepideus* (Fr.) Redhead & Ginns (Mad 534), *Postia* (= *Rhodonina*) *placenta* (Fr.) Lars. & Lombard (Mad 698) e *Gloeophyllum trabeum* (Pers.: Fr.) Murr (Mad 617) foi utilizado para a inoculação. As culturas, mantidas de forma estacionárias, foram incubadas a 27 °C durante três semanas até que se observou o surgimento de uma camada de crescimento micelial cobrindo a superfície do meio.

Após três semanas, o emaranhado micelial foi separado das culturas líquidas por meio de filtração sob vácuo em discos de papel filtros e transferido assepticamente para um copo de liquidificador estéril contendo 100 mL de água deionizada estéril e homogeneizado com quatro pulsações para criar uma suspensão micelial. Placas de Petri contendo meio malte agar 2% foram inoculadas

com 1 mL da suspensão micelial de cada fungo a ser testado com o uso de uma mesa giratória e alça de Drigalski.

Com uma micropipeta, 100 μ L de cada extrato preparado nas concentrações a serem testadas foram impregnados em discos de papel filtro (13 mm). Posterior a evaporação dos solventes, os discos impregnados foram adicionados no centro da placa de Petri. Foi empregado um disco por placa e três repetições por fungo, extrato e concentração testada. As placas foram encubadas em sala climatizada (27°C; 80% de umidade relativa - UR), sendo avaliadas as zonas de inibição de crescimento depois de sete dias. As principais etapas do processo de montagem do ensaio de inibição constam na Figura 2.

Figura 2 – Principais etapas da montagem do ensaio de inibição: cultivo estacionário (A); filtragem do emaranhado micelial (B); produção da suspensão micelial (C); pipetagem e homogeneização da suspensão nas placas (D, E); e impregnação dos extratos nos discos de papel filtro (F).



Fonte: O autor (2019).

3.5 IMPREGNAÇÃO DOS EXTRATOS NA MADEIRA

As concentrações e soluções para a impregnação da madeira, definidas pelo ensaio de inibição fúngica, foram obtidas pela dissolução dos extratos brutos concentrados em seus respectivos solventes, em quantidades compatíveis com o aparato de impregnação utilizado (Figura 3).

Figura 3 – Aparato utilizado para o tratamento das amostras sob vácuo.



Fonte: O autor (2019).

Para o tratamento foram utilizadas amostras de *Pinus taeda* (*southern yellow pine* - SYP), de reconhecida baixa durabilidade e sua disponibilidade no FPL, Madison, WI, com dimensões de 10 x 10 x 10 mm e 25 x 25 x 6 mm (radial x tangencial x longitudinal) conforme descrito na *American Wood Protection Association* - AWPA E10-16 (2016).

Para a impregnação, foram realizadas algumas adaptações da norma empregada (AWPA E10-16), conforme o aparato disponível para o tratamento da madeira (Figura 3). As amostras foram imersas nos extratos e submetidas a vácuo (500 mmHg por 30 min), seguido por mais 30 min em pressão atmosférica. Para cada extrato testado, foram tratadas amostras controle sob as mesmas situações, sem a presença dos extratos, onde foi utilizado o solvente puro (etanol, metanol, acetona e água) para a impregnação da madeira.

Antes da impregnação, as peças foram condicionadas em câmara climática (27°C; 30% UR) por três semanas e tomadas suas massas e volumes. Desta forma a retenção de extrativos (kg m^{-3}) para cada extrato testado foi calculada pela razão entre o ganho de massa após a impregnação e o volume das amostras. Após o condicionamento em câmara climática, as amostras impregnadas foram preparadas para os ensaios de lixiviação, intemperismo artificial e testes biológicos.

3.6 ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS COMPOSTOS EXTRAÍDOS

As análises para identificação dos principais compostos orgânicos presentes nas soluções selecionadas para o tratamento da madeira foram realizadas na Unidade de Pesquisa em Durabilidade e Proteção da Madeira – USDA-FS/FPL, Starkville, Mississippi, EUA.

As análises foram realizadas por meio de cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS) em um cromatografo de gases Agilent 7890B. As amostras dos extratos selecionados foram injetadas em uma coluna Agilent HP-5ms Ultra Inerte (30 m x 250 mm x 0,25 μm) por meio de um injetor direto (modo *splitless*) mantido a 270 °C. O tempo de atraso do solvente foi estabelecido em 3-6 min. Para todos os extratos, o volume da amostra injetada foi de 1 μL .

Foi utilizada a temperatura inicial de 75 °C, seguida de rampa de aquecimento de 5 °C min^{-1} até 230 °C, em que a temperatura foi mantida por 80 minutos (XIE et al. 2011). A temperatura da fonte de ionização foi mantida em 230 °C. Todos os espectros de massa foram registrados na ionização por impacto de elétrons a 70 elétron volts. Foi utilizado o hélio como gás de arraste a uma taxa de fluxo constante de 1 mL min^{-1} .

O espectrômetro de massa foi programado para fazer a varredura entre m/z 3-700 a uma taxa de duas varreduras por segundo. Um integrador calculou automaticamente a área dos picos. Os principais compostos foram identificados em função da porcentagem da base da amostra e tempo de retenção usando como comparação a biblioteca do *National Institute of Standards and Technology* - NIST-14 e as informações contidas na literatura (HASSAN et al., 2017; LI et al., 2017;

LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2009; NIAMKÉ et al., 2011, 2012; THULASIDAS; BHAT, 2007).

3.7 ENSAIO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO E COLORIMETRIA

Os ensaios de envelhecimento acelerado compreenderam os testes de lixiviação e intemperismo em câmara de envelhecimento. Para a lixiviação, os corpos de prova depois de tratados foram submetidos ao método da AWWA E11-16 (2016), em que foram alocados em frascos de vidro com capacidade de 500 mL e cobertos por 300 mL de água destilada.

Os frascos contendo as amostras cobertas por água foram submetidos a um vácuo de 100 mmHg por 20 minutos em um dissecador para permitir a saturação inicial das amostras. Em seguida, os frascos foram fechados com tampas rosqueadas e submetidos a agitação (60 rpm) em um agitador mecânico de bancada (Figura 4A). Após 6, 24, 48 e seguidamente a cada 48 horas pelo período de 14 dias, o conteúdo de água dos frascos foi trocado (Figura 4B), totalizando 336 horas de ensaio.

Figura 4 – Frascos utilizados no ensaio de lixiviação sob agitação constante em agitador mecânico (A) e líquidos coletados após os períodos predeterminados (B).



Fonte: O autor (2019).

O intemperismo acelerado foi executado em câmara *QUV/spray accelerated weathering tester* (Figura 5A), que simula os efeitos causados pelo intemperismo natural na madeira. O modelo utilizado possui duas janelas de exposição localizadas em lados opostos no qual as amostras tratadas com os extratos foram dispostas (Figura 5B). Para possibilitar o ensaio, as amostras tratadas foram levemente fixadas em placas de madeira de pinus nas dimensões das janelas de exposição com fita dupla face.

O efeito da radiação solar foi simulado com lâmpadas fluorescentes UV, as quais simulam a luz solar em uma faixa de comprimento de onda de 295 à 365 nm. A chuva e o orvalho foram simulados com *spray* de água por meio de bicos aspersores e com umidade de condensação, respectivamente.

Figura 5 – Camara de intemperismo acelerado utilizadas (A) e amostras tratadas dispostas nas janelas de exposição (B).



Fonte: O autor (2019).

Os corpos de prova foram expostos em ciclos alternados de radiação, umidade e temperatura, controlados de acordo com o estipulado pelo Apêndice II, ciclo 7, contido na ASTM G 154 (2016). O ciclo total de exposição foi de 336 horas, conforme os parâmetros utilizados (Tabela 3), perfazendo um total de 28 ciclos completos de 12 horas cada.

Tabela 3 – Parâmetros técnicos dos ciclos de intemperismo utilizados no ensaio de intemperismo acelerado.

Parâmetro	Característica
Radiação	1,45 W m ⁻²
Exposição Luminosa	8h na faixa do ultravioleta a 60 ± 3 °C / 340 nm comprimento de onda
Exposição à umidade	0,25h de spray de água (sem luz) / temperatura não controlada
Condensação	3,75h de condensação a 50 ± 3 °C

Fonte: Adaptado de ASTM G 154 (2016)

Ao final do processo de envelhecimento acelerado as amostras lixiviadas ou intemperizadas foram acondicionadas em sala climatizada por três semanas e pesadas após atingirem umidade de equilíbrio.

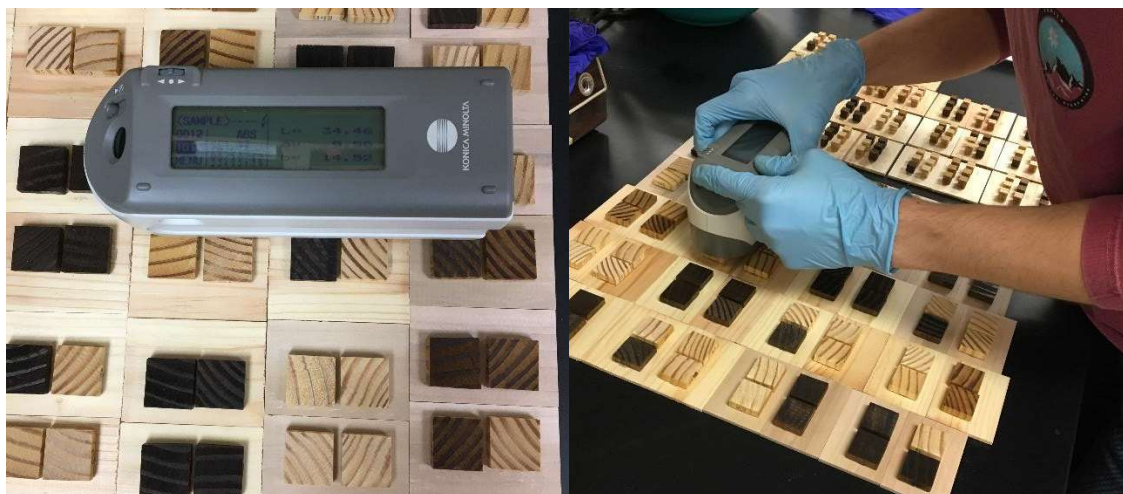
Para o estudo da influência dos diferentes extratos de teca nos padrões colorimétricos da madeira tratada e na sua resistência ao envelhecimento acelerado, foram realizadas leituras colorimétricas nas mesmas antes e após os testes de envelhecimento acelerado (Figura 6). A determinação foi realizada pelo espaço de cor CIE-L*a*b* (“Commission Internationale de L’Éclairage” – CIE,1976) com os seguintes parâmetros / coordenada colorimétricas: L* (claridade ou luminosidade), coordenadas a* (matizes do eixo vermelho – verde) e b* (matizes do eixo amarelo – azul). As leituras foram realizadas com espectrofotômetro portátil modelo CM 2600d.

A variação total da cor da madeira após os tratamentos preservativos e os ensaios de envelhecimento acelerado foi determinada pelo emprego da Equação 1, conforme Konica Minolta (2007).

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

em que: ΔE^* : variação total da cor da madeira após os tratamentos; e ΔL^* , Δa^* e Δb^* : variação das coordenadas L*, a* e b* após os tratamentos, respectivamente.

Figura 6 – Leitura dos padrões colorimétricos das amostras com o espectrofotômetro portátil.



Fonte: O autor (2019).

Após os cálculos, as variações totais de cor das amostras foram classificadas ao utilizar a tabela proposta por Hikita, Toyoda e Azuma (2001), com base em níveis de percepção visual (Tabela 4). Após esse procedimento, os corpos de prova compreendendo as situações normais de tratamento, além daqueles lixiviados e intemperizados, foram submetidos aos ensaios biológicos.

Tabela 4 – Classificação da variação total da cor (ΔE^*) da madeira após os tratamentos.

Variação Total da Cor (ΔE^*)	Classificação
Desprezível	0,0 – 0,5
Quase imperceptível	0,5 – 1,5
Ligeiramente perceptível	1,5 – 3,0
Notável	3,0 – 6,0
Muito expressiva	6,0 – 12,0

Fonte: Adaptado de Hikita, Toyoda e Azuma (2001).

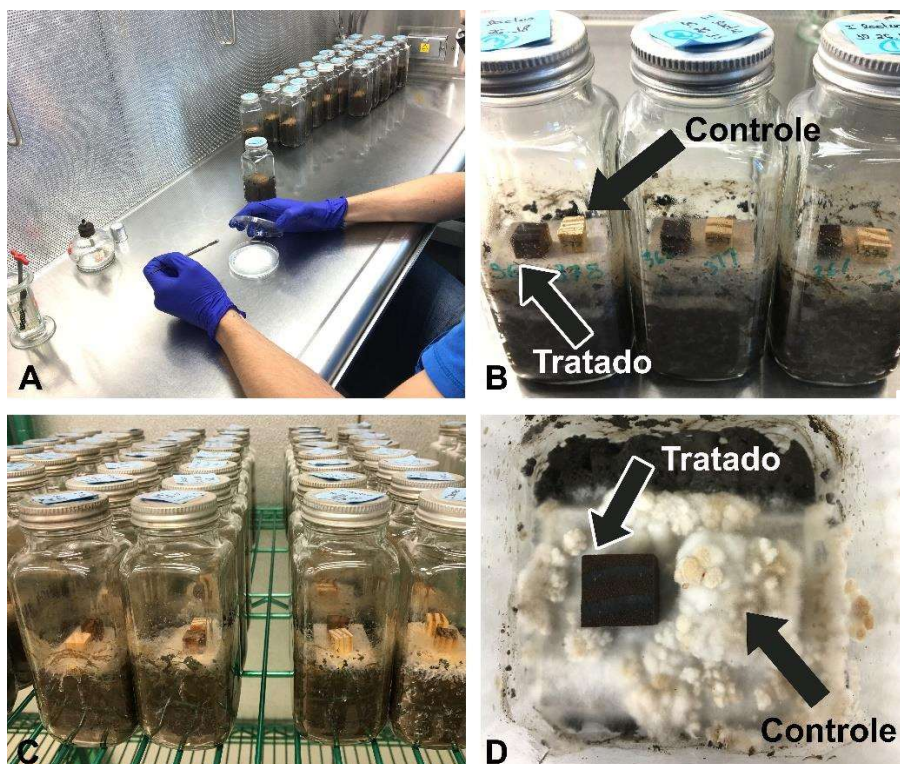
3.8 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A FUNGOS XILÓFAGOS

Para o ensaio, as amostras tratadas e controle de *P. taeda* com dimensões de 10 x 10 x 10 mm foram submetidas à ação dos fungos de podridão parda *Gloeophyllum trabeum*, *Neolentinus lepideus* e *Postia placenta* e ao fungo de podridão branca *Irpelex lacteus* conforme metodologia descrita pela AWWPA E10-16 (2016).

Assim, foram usados frascos de vidro quadrado com capacidade de 225 mL, preenchidos pela metade com aproximadamente 120 g de solo umedecido para 130% da capacidade de retenção de água, pela adição de 25 mL de água destilada. Foi adicionado um alimentador de madeira por frasco, sendo utilizado alburno de *Pinus* spp. para os fungos de podridão parda e alburno de *red maple* (*Acer rubrum* L.), para o fungo de podridão branca. Os frascos foram esterilizados em autoclave a 103 kPa e 121 °C por 30 minutos.

Depois do resfriamento dos frascos, dois fragmentos obtidos da borda de culturas puras com crescimento ativo, foram inoculados nas bordas dos alimentadores em contato com o solo. Após o desenvolvimento do fungo e a colonização do mesmo no solo, as amostras (previamente esterilizadas em óxido de propileno) foram adicionadas, à razão de duas amostras por frasco, sendo uma tratada e outra não tratada (controle) para cada situação testada (normal, lixiviado e intemperizado). O ensaio foi mantido em sala climatizada (27 °C e 80% UR) por oito semanas (Figura 7). Decorrido tal período, o ensaio foi desativado e a perda de massa avaliada conforme ASTM D - 2017 (2005) (Tabela 5).

Figura 7 – Montagem do ensaio de solo bloco: inoculação dos frascos (A); disposição das amostras (B); incubação e crescimento dos fungos (C e D).



Fonte: O autor (2019).

Tabela 5 – Classificação da perda de massa em ensaio de resistência a fungos xilófagos.

Perda de Massa (%)	Massa Residual (%)	Classe de Resistência
0 - 10	90 - 100	Altamente resistente
11 - 24	76 - 89	Resistente
25 - 44	56 - 75	Moderadamente resistente
≥ 45	≤ 55	Não resistente

Fonte: ASTM D - 2017 (2005).

3.9 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A TERMITAS XILÓFAGAS

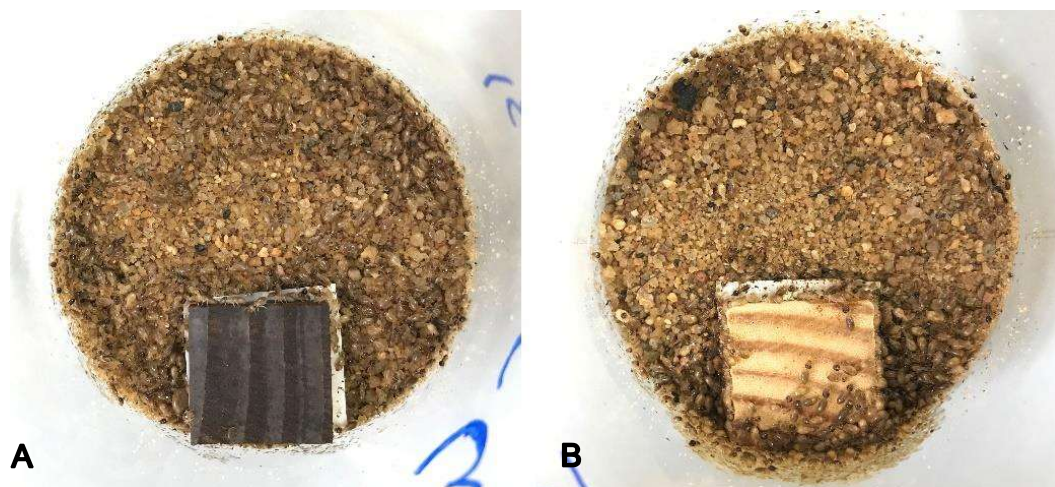
3.9.1 Ensaio de alimentação forçada

O ensaio biológico de alimentação forçada ao cupim arborícola *Nasutitermes corniger* Motsch. (Blattodea: Termitidae) foi realizado conforme o método descrito pela AWWA E1-16 (2016). A colônia das térmitas foi coletada na área rural em Jerônimo Monteiro, ES e levada para o LBPM / UFES. Frascos de tampa rosqueada com capacidade de 600 mL foram preenchidos com 150 g de areia peneirada, lavada e esterilizada em estufa (130 °C). A areia foi umedecida a 7% abaixo da sua capacidade de retenção de água pela adição 27 mL de água deionizada por frasco duas horas antes da adição das amostras e térmitas.

Conforme a norma, as amostras foram protegidas do contato direto com a areia pela adição de papel alumínio com dimensão excedendo em aproximadamente 3 mm de cada lado das amostras (Figura 8). As térmitas foram coletadas da colônia e adicionadas na razão de 400 indivíduos por frasco, o que correspondeu a aproximadamente 1,48 g com a proporção de 12% de soldados e 88% de operários, conforme proporção natural encontrada na colônia, obtida pela pesagem de cinco grupos de um grama. Essa proporção está de acordo com a proporção natural de outras colônias já utilizadas no LBPM.

O ensaio permaneceu em sala climatizada (27 °C e 65% UR) durante 28 dias, quando foi avaliada a durabilidade natural da madeira em função do desgaste visual (nota) dos corpos de prova (Tabela 6), mortalidade dos cupins (%) / tempo (dias) para a morte dos cupins e da perda de massa (%).

Figura 8 – Vista do interior dos frascos com térmitas e as amostras de madeira submetidas ao ensaio de alimentação forçada. A – amostra tratada; B – Controle.



Fonte: O autor (2019).

Tabela 6 – Avaliação do desgaste nos corpos-de-prova e da mortalidade dos cupins.

Classificação visual do desgaste	Nota
Sadio	10
Traços, escarificações superficiais permitidas	9,5
Ataque leve, até 3% da área da seção transversal (AST) afetada	9
Ataque moderado, 3-10% da AST afetada	8
Ataque moderado a severo, penetração de 10-30% da AST afetada.	7
Ataque severo, 30-50% da AST afetada.	6
Ataque muito severo, 50-75% da AST afetada	4
Falha, ruptura das amostras	0

Fonte: Adaptado da AWWA E1-16 (2016).

3.9.2 Ensaio de preferência alimentar

O ensaio de preferência de alimentar foi realizado com o térmita *N. corniger* conforme metodologia proposta por Paes et al. (2001; 2006) com algumas adaptações. Para a instalação do ensaio, os corpos de prova com dimensões nominais de 2,54 x 2,54 x 0,64 cm (r x t x l), secos em estufa (50 °C) até atingirem peso constante, foram distribuídos segundo um delineamento em blocos casualizados (Figura 9) sobre uma bandeja de polietileno em uma caixa com

capacidade de 250 L, contendo uma camada de areia de aproximadamente 5 cm, o que correspondeu a aproximadamente 40 kg de areia seca.

A areia teve seu teor de umidade corrigido para 18% pela adição de 7,2 L de água destilada, o que correspondeu a aproximadamente 70% de sua capacidade de retenção de água. O ensaio permaneceu em sala climatizada (27 °C e 65% UR) durante 28 dias, e após as primeiras 48 h, a areia foi inspecionada para determinação do teor de umidade. Para tal procedimento, foram retiradas amostras de aproximadamente 25 g equidistantes das bordas da caixa, pesadas e secas em estufa para determinação do teor de umidade. Dessa forma, foi calculado o volume de adição de água diário para a correção e manutenção da umidade da areia na faixa de $18 \pm 2\%$, que correspondeu a aproximadamente 600 mL/dia.

Figura 9 – Montagem e distribuição das amostras (A); disposição da colônia de térmita para o ensaio de preferência alimentar (B).



Fonte: O autor (2019).

Ao término do ensaio, as amostras foram limpas com escovas de cerdas macias, secas em estufa (50 °C) e pesadas para avaliação da resistência da madeira tratada em função da perda de massa e do desgaste provocado pelas térmitas nos corpos de prova (Tabela 6).

3.10 ANÁLISE E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A quantificação dos extrativos, retenção de solução preservativa e ensaio de inibição foram avaliados por meio de estatística descritiva ao serem empregadas as médias e desvios padrões. Nos resultados obtidos pela análise química de CG-MS, foram identificados os picos de maior intensidade e precisão e os compostos foram comparados com a literatura citada.

Para os testes de envelhecimento acelerado e ensaios biológicos foram utilizadas cinco repetições por tipo de teste, extrato e situação testada (normal, lixiviada e intemperizada). Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, em que foram avaliados os efeitos dos extratos e concentração nas variáveis respostas obtidas pelos testes. Para os fatores e interação detectados como significativos pelo teste F ($p \leq 0,05$), foi empregado o teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

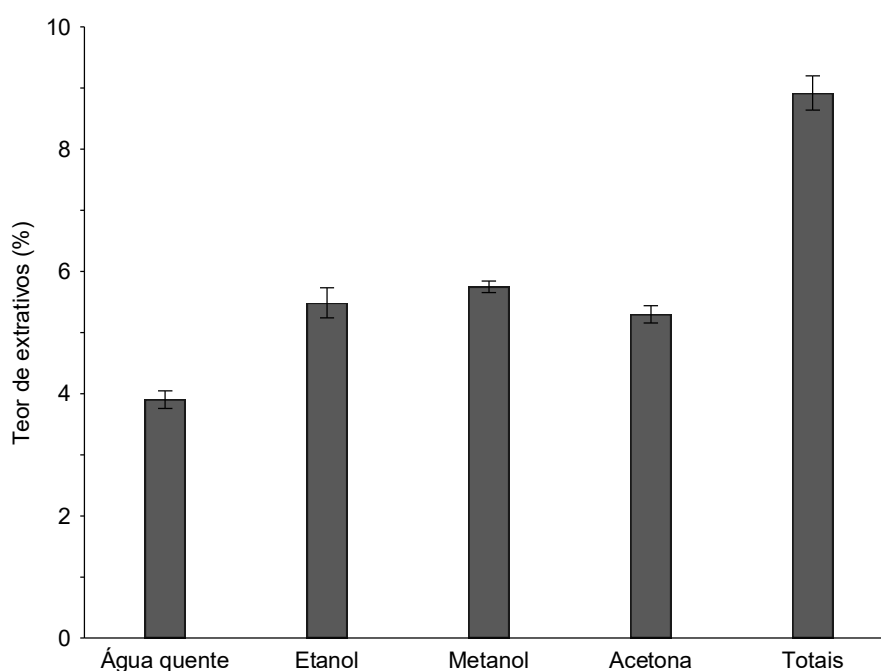
Para todos os casos foi verificada a normalidade dos dados pelo teste de Kolmogorov–Smirnov e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Cochran C. Quando necessário, transformações logarítmicas ou angulares foram aplicadas aos dados para permitir as análises estatísticas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 QUANTIFICAÇÃO DOS EXTRATIVOS DE TECA

O teor dos extrativos presentes nos resíduos do processamento industrial da madeira de teca variou conforme os solventes empregados (Figura 10). A menor solubilidade foi proporcionada pela extração em água quente (3,90%), seguidos dos extrativos em acetona (5,30%), etanol (5,49%) e metanol (5,75%). Quando empregada a sequência de extrações para obtenção dos extrativos totais houve um aumento expressivo, atingindo 8,92% de solubilidade.

Figura 10 – Solubilidade dos extrativos presentes nos resíduos de teca de acordo com os solventes empregados.



Fonte: O autor (2019).

Os resultados obtidos em pesquisa anterior (BROCCO et al., 2017) indicaram valores superiores aos da Figura 10, com 6,56% e 9,17% para os extrativos em água quente e etanol, respectivamente. O teor, tipo e composição dos extrativos de teca variam conforme idade, posição na madeira, sítio e condições de crescimento (MOYA; BOND; QUESADA, 2014).

Um maior teor de extrativos pode ser um indicador de uma maior resistência natural da madeira, no entanto sua composição química individual mostra que a presença de compostos específicos, mesmo em pequenas quantidades, atua de forma determinante nesse quesito, se mostrando mais importante do que a quantidade de extrativos (BHAT et al., 2005; THULASIDAS; BHAT, 2007).

De acordo com a literatura citada a seguir, a quantidade de extrativos totais na madeira de teca varia, e representa em média um total 7-10% na composição da madeira. Lukmandaru e Takahasi (2008) encontraram variações de 2-4% para os extrativos em metanol na posição externa do cerne, enquanto os extrativos totais apresentaram teor de 7-9%. Já Thulasidas e Bhat (2007) encontraram teores de extrativos totais de 12-16% para o cerne. De acordo com Sanderman e Dietrichs (1959) citados por Yamamoto, Simatupang e Hashim (1998), os derivados de quinonas alcançaram um total de 1,8% na composição dos 10,3% de extrativos.

Os valores citados por Yamamoto, Simatupang e Hashim (1998) são similares aos encontrados por outros autores e corroboram para uma tendência de que quanto maior o teor de extrativos totais, maior o teor de quinonas. Para um teor de extrativos totais entre 9-10% nas porções externas do cerne, Premrasmi e Dietrichs (1967) encontraram a presença dos compostos importantes na durabilidade da madeira variando de 0,4-1% para tectoquinona e cerca de 0,2% para o lapachol. Valores semelhantes foram obtidos por Windeisen, Klassen e Wegener (2003), variando de 1-1,5% para tectoquinona e 0,2-0,4% para o lapachol, em um teor de extrativos totais de 7-8%.

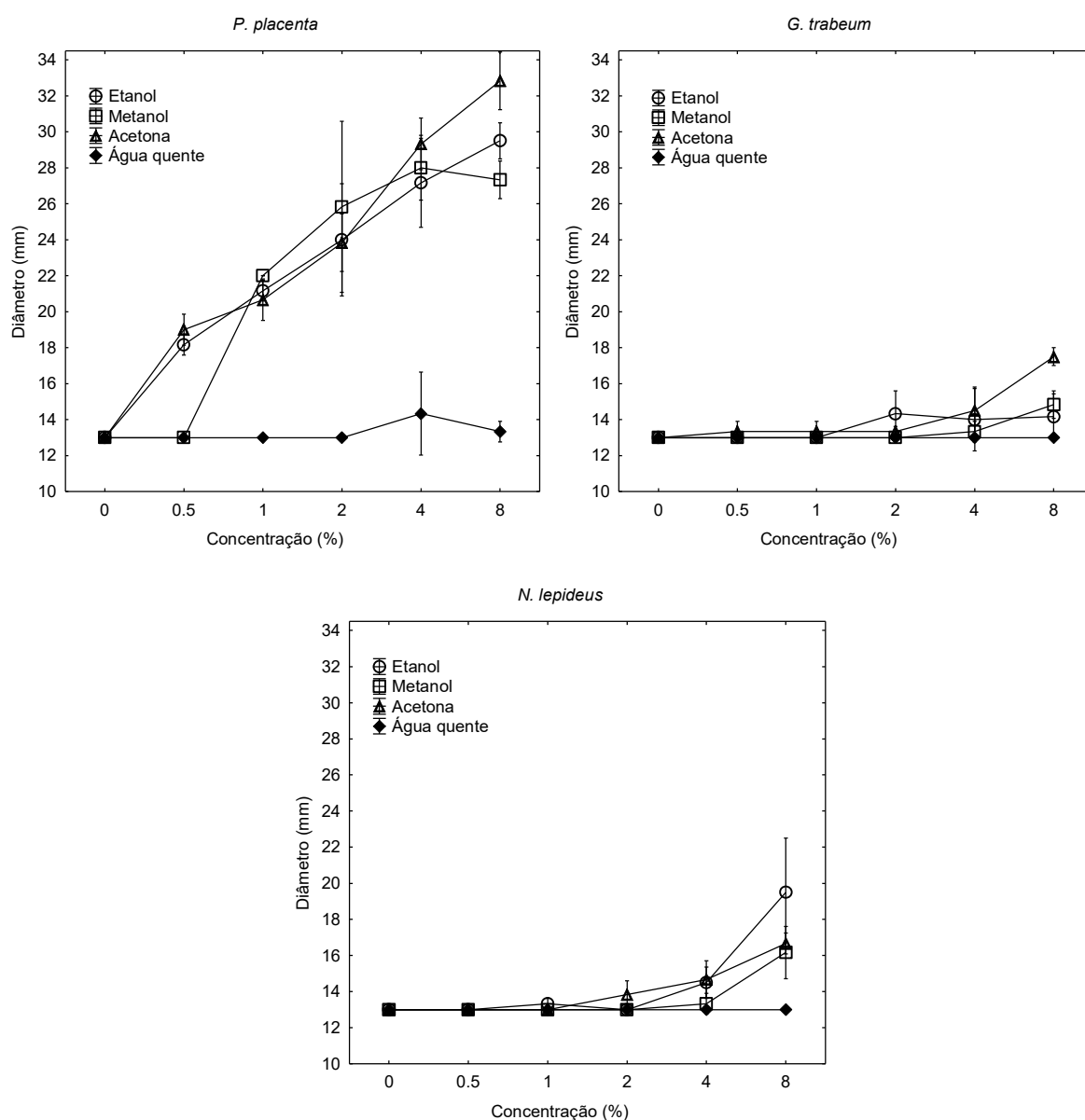
O fator mais preponderante entre esses estudos é que independente da variação do teor de extrativos, a presença de derivados de quinonas, mesmo em quantidades menores que 1%, foi vital para a durabilidade natural da madeira (HAUPT et al., 2003; LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2009).

As quinonas e seus derivados são geralmente obtidos por extrações com solventes orgânicos como hexano, acetona, etanol e metanol. Por outro lado, de acordo com Dhawan e Gupta (2017), a extração água resulta em menor solubilidades de vários fitoquímicos, como observado para os derivados de quinona (LI et al., 2017).

4.2 ENSAIO DE INIBIÇÃO E DEFINIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO

Na Figura 11 podem ser observados os valores médios do diâmetro de inibição de crescimento (mm) para os fungos de podridão parda *P. placenta*, *G. trabeum* e *N. lepideus* para cada concentração e extrato testado. Notou-se que houve pouca ou nenhuma variação em relação ao valor de referência dos discos (13 mm) utilizados para a impregnação dos extratos obtido em água quente. Nenhum extrato testado apresentou inibição de crescimento ao fungo de podridão branca *I. lacteus*.

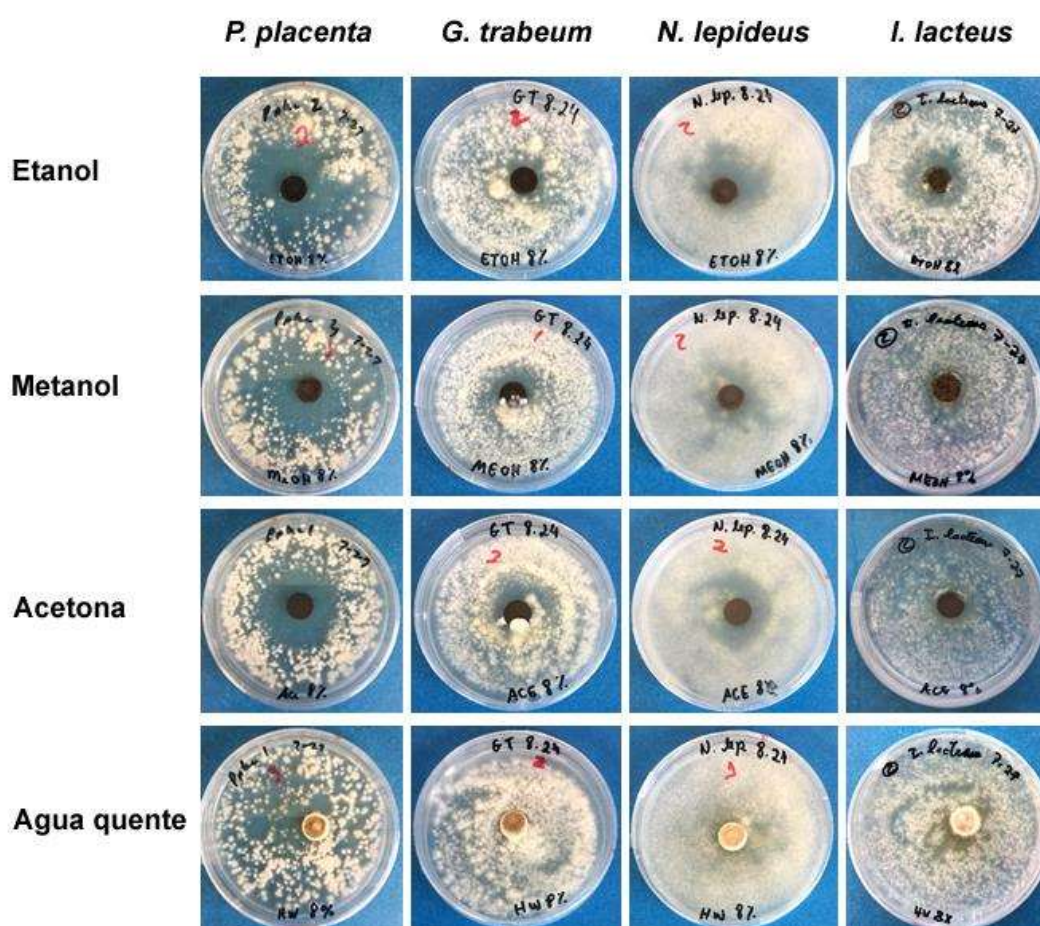
Figura 11 – Inibição de crescimento fúngico em função do extrato e fungo testado.



Fonte: O autor (2019).

De forma geral, com os valores obtidos na Figura 11 e a análise visual (Figura 12) observou-se que apenas no *Postia placenta* houve uma notável inibição de crescimento e a concentração de 8% desempenhou melhores resultados. Nos fungos *G. trabeum* e *N. lepideus* houve uma menor inibição, apesar disso, notou-se uma menor densidade das hifas próximas do centro da placa. Em razão dos resultados encontrados para a inibição fúngica, a concentração de 8% foi selecionada para a impregnação das amostras.

Figura 12 – Aspecto visual da inibição do crescimento fúngico para a concentração de 8% entre os fungos testados.



Fonte: O autor (2019).

De acordo com Kligman e Rosensweig (1948), o método utilizado no presente estudo é ideal para testar a ação de fungicidas em comparação com o método usual em que o produto é dissolvido no meio de cultura, principalmente para produtos insolúveis em água. De fato, os extratos testados no presente estudo apresentaram dificuldade de dissolução em meio de cultura em testes preliminares,

em que não foi encontrado resultado claro de inibição quando testados no método convencional em meio malte:ágar inoculado com fragmento dos fungos testados.

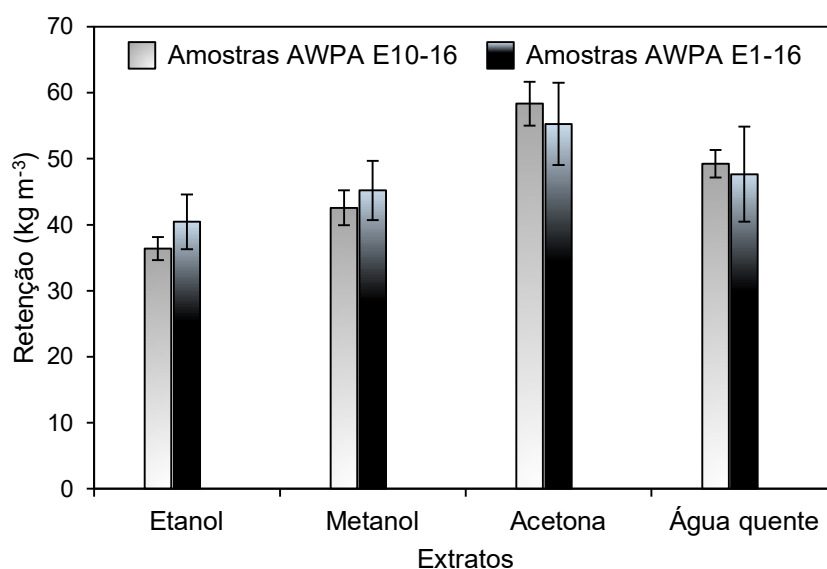
Na avaliação da ação antifúngica de extratos madeireiros em meio de cultura, Kirker et al. (2013) observaram variação entre a inibição causada pelos fungos testados. No entanto, mesmo para as situações em que a inibição foi baixa, a presença dos compostos na madeira pode contribuir para sua resistência ao ataque de xilófagos.

De acordo com os resultados encontrados por Lukmandaru (2013), os extratos de teca obtidos em hexano, acetato de etila e metanol não apresentaram forte inibição aos fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Fomitopsis palustres*, e indicaram melhor tendência na inibição de fungos emboloradores. No entanto, a real eficiência desses compostos só pode ser conhecida quando testada em situações mais realísticas de ataque na madeira.

4.3 RETENÇÃO DE EXTRATIVOS APÓS O TRATAMENTO PRESERVATIVO

Na Figura 13 podem ser observados os valores médios de retenção total de extratos de teca em função do solvente empregado na sua obtenção e das amostras utilizadas no tratamento.

Figura 13 – Retenção das amostras de *P. taeda* impregnadas com os extratos testados para os ensaios de fungo (AWPA E10-16) e térmitas (AWPA E1-16).



Fonte: O autor (2019).

De acordo com os resultados, o método de tratamento sob vácuo foi eficiente na impregnação dos extratos nas amostras de *P. taeda*. As retenções foram similares entre o tipo de amostra testada e variaram entre os extratos. Os valores obtidos variaram de 36-40 kg m⁻³ no extrato em etanol a 55-58 kg m⁻³ no extrato em acetona.

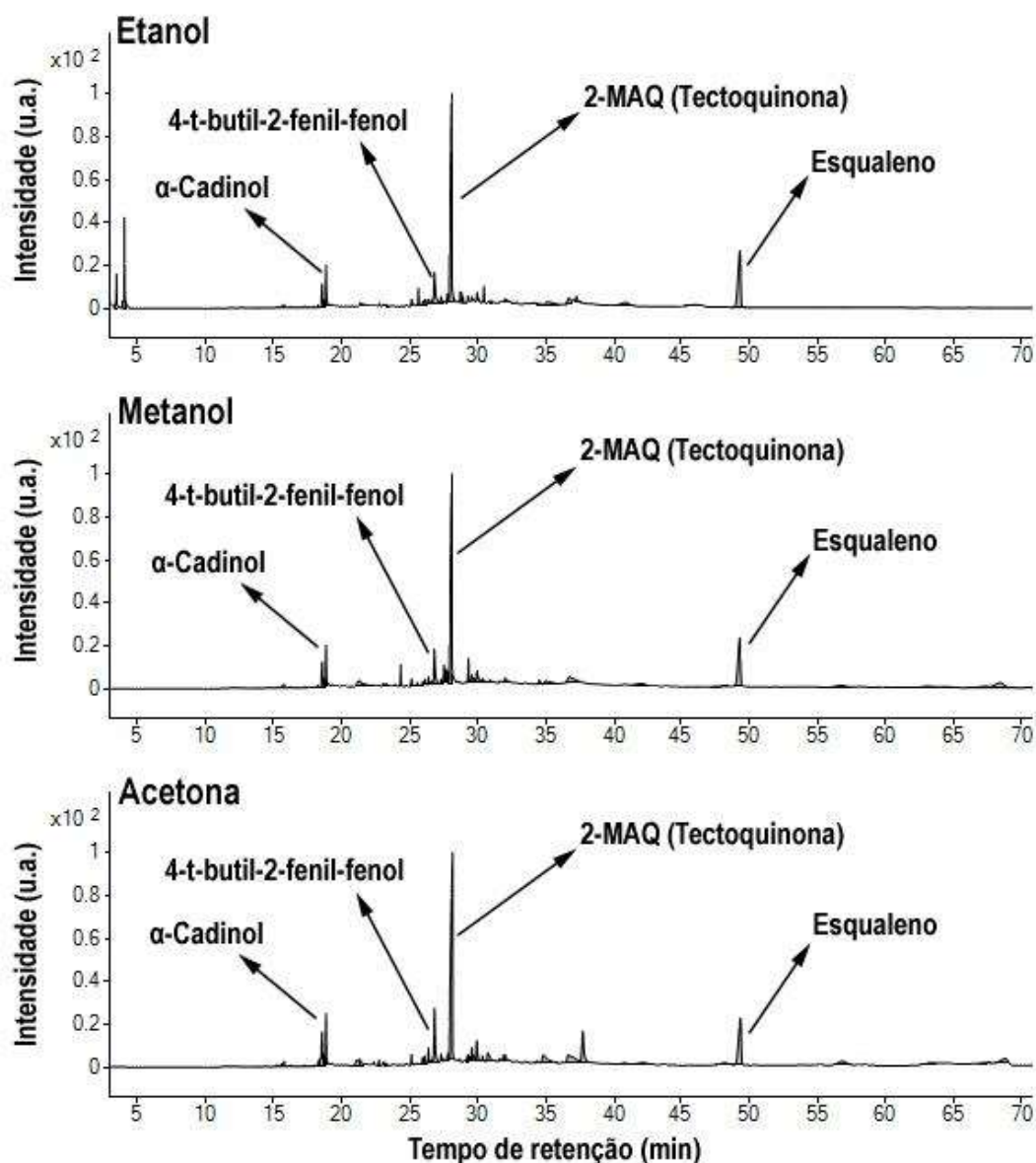
Os valores obtidos estão compatíveis com a concentração empregada. Tascioglu et al. (2012) encontraram variações de 84-105 kg m⁻³ em função de diferentes extratos testados quando empregados em concentração superior (12%) à utilizada no presente estudo. Os resultados obtidos por Brocco et al. (2017) variaram de 15-27 kg m⁻³, quando os extratos de teca em água quente e etanol na concentração de 4% foram impregnados na madeira de *Pinus* sp. e no geral a variação obtida não interferiu na resistência da madeira tratada.

Uma possível explicação para o extrato obtido em acetona ter alcançado maior retenção é que alguns solventes como a acetona, em função do alto poder de extração, podem aumentar a permeabilidade da madeira pela dissolução de outros compostos como resinas e de reduzirem a aspiração das pontoações (COMSTOCK; CÔTÉ JUNIOR, 1968; KOLLMANN et al., 1975).

4.4 ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS COMPOSTOS EXTRAÍDOS

A análise de CG-MS dos extratos de resíduos de teca resultou em aproximadamente 70 compostos químicos identificados para o extrato em etanol, 80 em metanol e 100 em acetona, respectivamente. Nos cromatogramas obtidos (Figura 14), consideraram-se para a identificação os compostos majoritários, com picos de intensidade relativamente alta e maior área (%). Os demais compostos foram obtidos em vários picos de menor intensidade, sendo considerados apenas os compostos já identificados pela literatura, respeitando o parâmetro “qualidade” e sua verificação na análise em duplicata, uma vez que frequentemente aparecem no gráfico vários picos, de intensidade muito baixa e a maioria são de baixa precisão e difícil identificação.

Figura 14 – Cromatogramas da análise por CG-EM dos extratos dos resíduos de teca.



Fonte: O autor (2019).

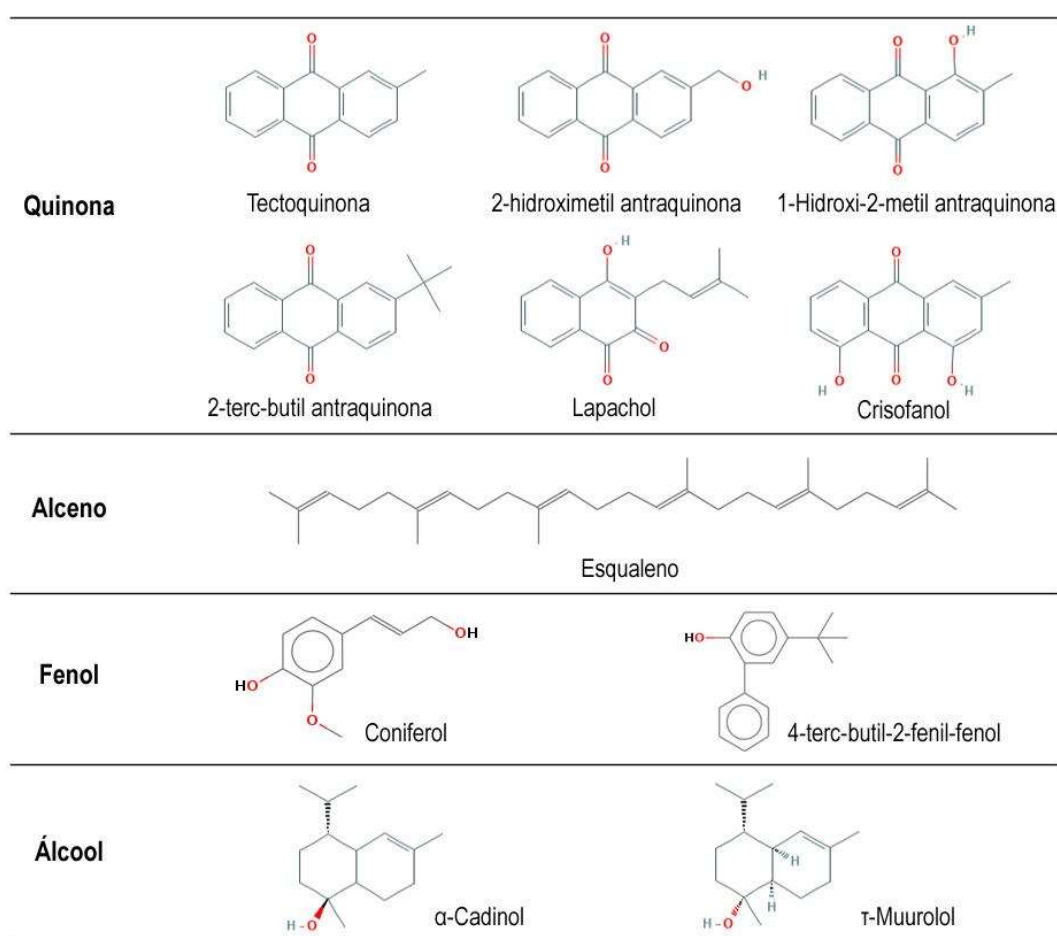
Observou-se na Figura 14 que os compostos majoritários se repetiram para os extratos em etanol, metanol e acetona, atingindo o mesmo tempo de retenção entre eles. O principal composto, identificado pelo pico de maior intensidade foi o 2-metil-antraquinona (tectoquinona), seguido do esqualeno e o composto fenólico 4-terc-butil-2-fenil-fenol. Na Tabela 7 e Figura 15, pode-se observar a estrutura, porcentagem da amostra dos compostos acima citados e dos demais selecionados, além do tempo de retenção, peso molecular e a qualidade de identificação.

Tabela 7 – Principais componentes identificados na análise de CG-EM para os extratos testados.

Composto	Área da amostra (%)			TR (min)	Peso molecular	Qualidade
	EtOH	MeOH	Ace			
2-metil antraquinona (Tectoquinona)	28,60	29,18	26,26	28,11	222,07	96
Esqualeno	12,39	10,96	8,23	49,28	410,39	99
4-terc-butil-2-fenil-fenol	5,51	5,25	5,46	26,83	226,14	90
2-(Hidroximetil)antraquinona	1,36	1,60	2,80	35,02	238,06	95
1-Hidroxi-4-metil-antraquinona	2,43	3,15	2,53	29,97	238,06	93
α -Cadinol	2,97	2,97	2,41	18,87	222,20	99
τ -Muurolol	1,70	2,12	2,23	18,58	222,20	97
4-((1E)-3-Hidroxi-1-propenil)-2-metoxifenol (Coniferol)	0,84	0,98	1,15	21,16	180,08	98
2-terc-butilantraquinona	1,21	1,09	1,09	29,59	264,12	72
Lapachol	0,65	0,87	0,87	26,40	242,09	98
1-Hidroxi-2-metil-antraquinona	0,92	1,00	0,86	29,67	238,06	83
4,5-Dihidroxi-2-metil-antraquinona (Crisofanol)	-	-	0,76	31,95	254,06	74
Antraquinona	-	0,38	0,22	25,52	208,05	99
Derivados quinona	35,17	37,27	35,39		-	
Total geral	58,58	59,55	54,87		-	

*TR- Tempo de retenção

Figura 15 – Estrutura dos principais compostos identificados pela análise de CG-MS nos extratos obtidos.



Fonte: O autor (2019).

Os compostos identificados compõem 55-60% dos extratos. A tectoquinona, o principal composto majoritário identificado, compõe em média 28% dos extratos obtidos e junto com os outros derivados de quinona constituem cerca de 35%, seguido do esqualeno (8-12%). Apenas a presença do crisofanol e a antraquinona não foi observada em todos os extratos. A composição restante dos extratos ocorre pela presença de compostos fenólicos (6%), como o coniferol e o 4-terc-butil-2-fenil-fenol e compostos como α -Cadinol (2,41-2,97%) e τ -Muurolol (1,7-2,23%).

Os diversos compostos identificados são reportados na literatura por apresentarem ação contra organismos xilófagos. De acordo com Premrasmi e Detrichs (1967), a tectoquinona tem sido reportada desde 1887 como extrativo de destaque na madeira de teca e possui forte influência na cor (ROWE, 1989) e definitivo efeito repelente contra termitas (RUDMAN et al., 1958; WOLCOTT, 1947). De acordo com os autores supracitados, sua presença na madeira, em geral, varia até 1% e está mais concentrada nas porções externas do cerne, cuja resistência a fungos e termitas é elevada. Além disso é dificilmente encontrada em extratos obtidos em água por causa de sua baixa solubilidade nesse solvente, sendo ainda ligeiramente extraída em água quente (HAMAD et al., 2019; LI et al., 2017).

No entanto, quando testada de forma isolada, apenas concentrações desse composto acima de 0,5% possui eficiência contra térmitas, sendo pouco efetivas contra fungos. Isso levou os autores citados a concluir que a tectoquinona, apesar de seu forte efeito termiticida, não é o único composto responsável pela resistência biológica da madeira de teca. Os resultados obtidos por Ismayati et al. (2016) corroboram para essa afirmação, em que os extratos brutos foram mais efetivos que a tectoquinona utilizada de forma isolada, na toxidez e deterência a térmitas.

Na busca pelo efeito biocida de outros derivados de quinonas, Rudman e Gay (1961) reportaram que a madeira de teca contém também 2-hidroximetil-antraquinona (0,4%). Quanto testado de forma isolada em discos de papel filtro, esse composto concentrado a 2% (m:m) também apresentou forte inibição nas térmitas testadas, reduzindo a perda de massa de 89% para 20%, enquanto na tectoquinona (2-MAQ) a perda foi de 12%, no entanto isso não alterou a mortalidade, indicando apenas deterência.

As duas antraquinonas reportadas também têm apresentado correlação na resistência a alguns fungos xilófagos (NIAMKÉ et al., 2011), porém de forma geral, têm se destacado mais como fator determinante na resistência da madeira de teca às térmitas subterrâneas como *Nasutitermes exitiosus*, *Coptotermes lacteus*, *Reticulitermes flavipes* e a termite de madeira seca *Cryptotermes brevis* (ISMAYATI et al., 2016; HASSAN et al., 2017; RUDMAN et al., 1958; RUDMAN; GAY, 1963; SANDERMAN; DIETRICH, 1957; WOLCOTT, 1947). Assim é oportuno também relatar o efeito sinérgico de alguns compostos, que podem agir também, como fungicidas.

Além da presença da tectoquinona e 2-hidroximetil-antraquinona, os outros derivados de quinonas identificados nos resíduos de teca no presente estudo, como 1-Hidroxi-4-metil-antraquinona, 2-(1,1-dimetiletil)-antraquinona, lapachol, 1-Hidroxi-2-metil-antraquinona, 1,8-dihidroxi-3-metil-antraquinona e antraquinona, têm sido reportados pela literatura, porém em quantidades inferiores a tectoquinona. (LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2009; PREMRASMI; DIETRICH, 1967; QIU et al., 2019; WINDEISEN; KLASSEN; WEGENER, 2003).

O 2-terc-butilantraquinona foi identificado por análise CG-MS como outro composto minoritário (0,77%) dos extratos em metanol e acetona (PRATIWI et al., 2019; WINDEISEN; KLASSEN; WEGENER, 2003), no entanto não foram encontrados registros de algum efeito desses compostos na resistência da madeira.

O mesmo ocorreu para 1-Hidroxi-4-metil-antraquinona, que também foi identificado por Xie et al. (2011) em análise de CG-MS dos extrativos em etanol da madeira de teca, compondo o extrato na proporção de 2-5%. Qiu et al., (2019) identificou esse composto em extração em acetona com conteúdo 32 vezes menor que a tectoquinona. Outras espécies como Ipê amarelo (*Tabebuia serratifolia*), apreciado pela resistência e cor da madeira, apresentaram esse composto também em proporções pequenas quando comparado aos outros derivados de quinona (ROMAGNOLI et al., 2013).

O lapachol (2-Hidroxi-3-(3-metil-2-butenil)-1,4-naftoquinona), embora encontrado neste estudo em proporções de 0,65-0,87% entre os extratos testados, é descrito na literatura como importante naftoquinona presente na madeira de teca e no gênero *Tabebuia* sp. e possui atividade biocida e medicinal (ROWE, 1989). De forma geral, ocorre em proporção muito pequena e é considerado um fator secundário na resistência da madeira, com pequeno efeito dissuasivo contra

térmitas e propenso potencial fungicida (RUDMAN; GAY, 1961; SANDERMANN; SIMATUPANG, 1966; THÉVENON et al., 2001).

O desoxilapachol, uma outra naftoquinona reportada por possuir maior correlação com a resistência natural da madeira (LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2009) não foi identificada pela análise de CG-MS no presente estudo.

Dentre os diversos derivados de quinonas descritos na literatura, foi observado que a presença do substituinte metil ou hidroximetil na posição 2 do anel da antraquinona é o principal fator que confere efeito inibitório aos organismos xilófagos testados (RUDMAN; GAY, 1961, 1963; SANDERMANN; SIMATUPANG, 1966; WOLCOTT, 1947). O fato da maioria dos derivados de quinonas identificados no presente trabalho possuírem essa característica (Figura 15) e comporem em aproximadamente 35% os extratos, com exceção de 1-Hidroxi-4-metil-antraquinona e a antraquinona, sugere que os extratos obtidos possuem os principais compostos descritos na literatura e estes podem atuar de forma sinérgica na resistência da madeira impregnada com os extratos.

O esqualeno é um triterpeno poli-insaturado e se configura como um metabólito precursor na biossíntese do colesterol. É reportado por diversos autores como um segundo composto majoritário dos extrativos da madeira de teca, apesar de em alguns casos ocorrer em proporções superiores (28%) a tectoquinona (24%) (HASSAN et al., 2017). Em outros casos podem ocorrer apenas traços desse componente na composição do extrato (0,7-1%) (LI et al., 2017).

Em estudo com óleos essenciais, Kartal et al. (2006) utilizaram uma formulação com proporção de 15% de esqualeno e encontrou eficácia na proteção da madeira contra o fungo *Trametes versicolor* (podridão branca), no entanto, não foi efetivo ao fungo *Tyromyces palustris* (podridão parda). Outros estudos afirmam que o esqualeno pode contribuir para a durabilidade da madeira na forma de uma barreira hidrofóbica ou como um precursor para compostos triterpenos tóxicos (LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2009; NIAMKÉ et al., 2011; WINDEISEN; KLASSEN; WEGENER, 2003; YAMAMOTO et al., 1998).

Os compostos fenólicos 4-terc-butil-2-fenil-fenol (5,40%), coniferol ou álcool coniferílico (4-((1E)-3-Hidroxi-1-propenil)-2-metoxifenol) (0,84-1,15%) também foram os únicos fenóis identificados na madeira de teca nas análises CG-MS dos extratos em acetona realizadas por Qiu et al. (2019). De acordo com os referidos autores, o 4-terc-butil-2-fenil-fenol apresentou um alto teor no cerne e junto com o 2-MAQ, que

foram os compostos com diferenças mais notáveis ao se comparar a presença dos mesmos no alburno. Esses compostos também foram relatados por Li et al. (2017) e Xie et al. (2011), variando na proporção de 0,54-2,98% dos extratos.

Os compostos identificados como α -Cadinol e τ -Muurolol são classificados como álcoois sesquiterpênicos. Como metabólito de vários vegetais, são óleos voláteis e desempenham importante papel fungicida (CHANG et al., 2008; HOSSEINI HASHEMI; JAHAN LATIBARI, 2012; SINGH; SINGH, 2012). No entanto, foram encontrados poucos registros na literatura para a ocorrência desses compostos nos extrativos de teca. Wen et al. (2017) analisaram os compostos voláteis em *Tectona grandis* e o α -Cadinol foi um dos que diminuiu drasticamente após irradiação para análise.

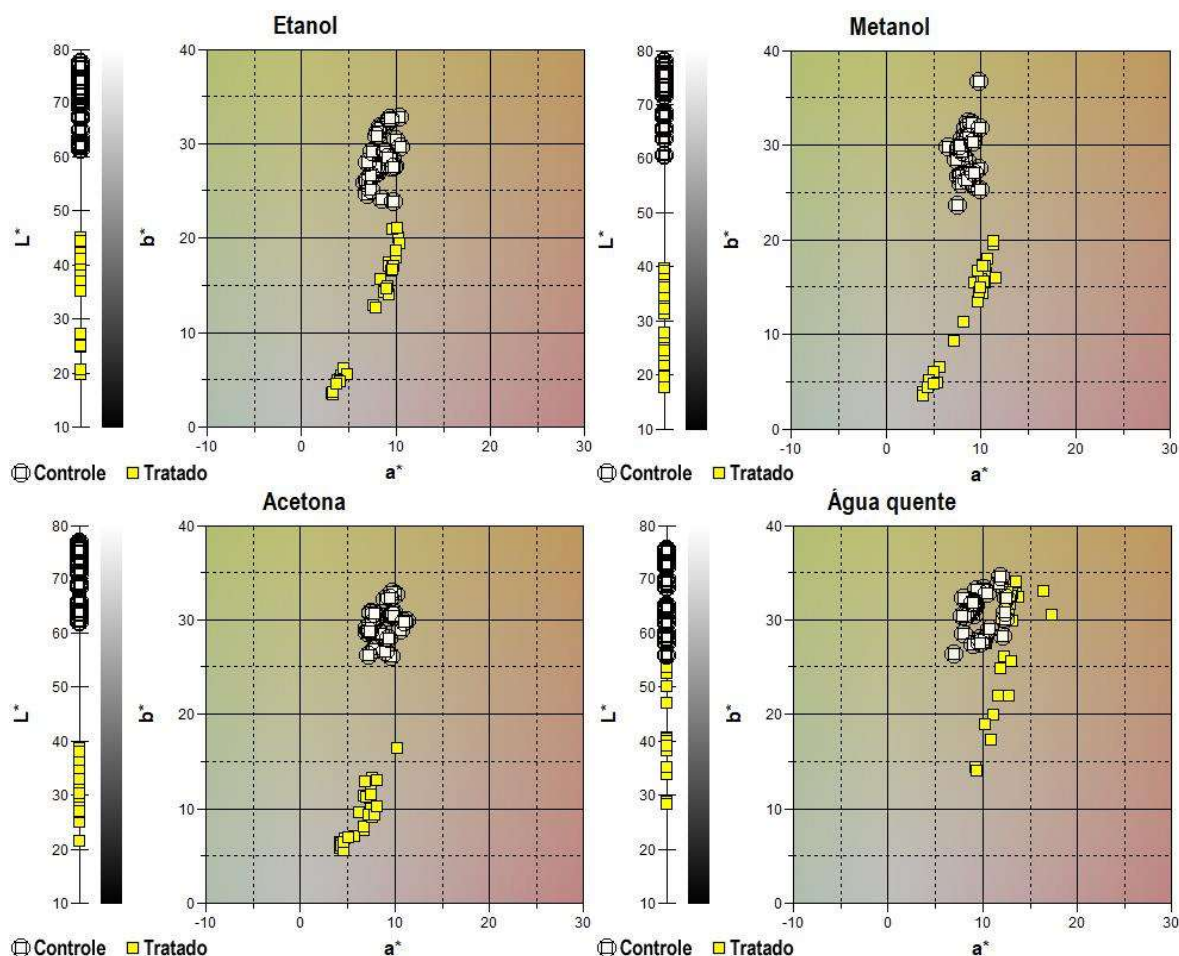
Outros compostos destacados na literatura como o “*caoutchouc*” (LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2009; PREMRASMI; DIETRICH, 1967; YAMAMOTO et al., 1998), um látex natural que contribui para resistência e estabilidade dimensional da madeira obtido em alguns solventes apolares (clorofórmio, hexano e éter de petróleo), além de tectol e derivados de naftaleno não foram identificados no presente estudo. Outros extrativos (terpenos e ácidos graxos) também são descritos pelos referidos autores como parcialmente responsáveis pela estabilidade dimensional e participam na durabilidade natural da madeira.

4.5 RESISTÊNCIA AO INTEMPERISMO E ESTABILIDADE DA COR

Na Figura 16 estão dispostos os diagramas de plotagem das coordenadas colorimétricas L^* , a^* e b^* antes (controle) e após o tratamento com os extratos testados. A mudança dos padrões colorimétricos, de maneira geral, pode ser observada na madeira tratada com os extratos em etanol, metanol e acetona, pelo escurecimento das amostras (redução da luminosidade - L^*) redução das tonalidades amarela (b^*) e vermelha (a^*). Entre esses extratos, as mudanças provocadas pelo extrato em acetona foram mais homogêneas, com maior redução das coordenadas L^* , a^* e b^* e conseqüentemente menor dispersão dos valores observados (Figura 16).

Os valores de L^* , a^* e b^* observados para os extratos em água quente foram os que menos variaram em relação ao controle, quando comparado aos extratos anteriores, com uma tendência de aumento da tonalidade vermelha (a^*) e redução de L^* e b^* .

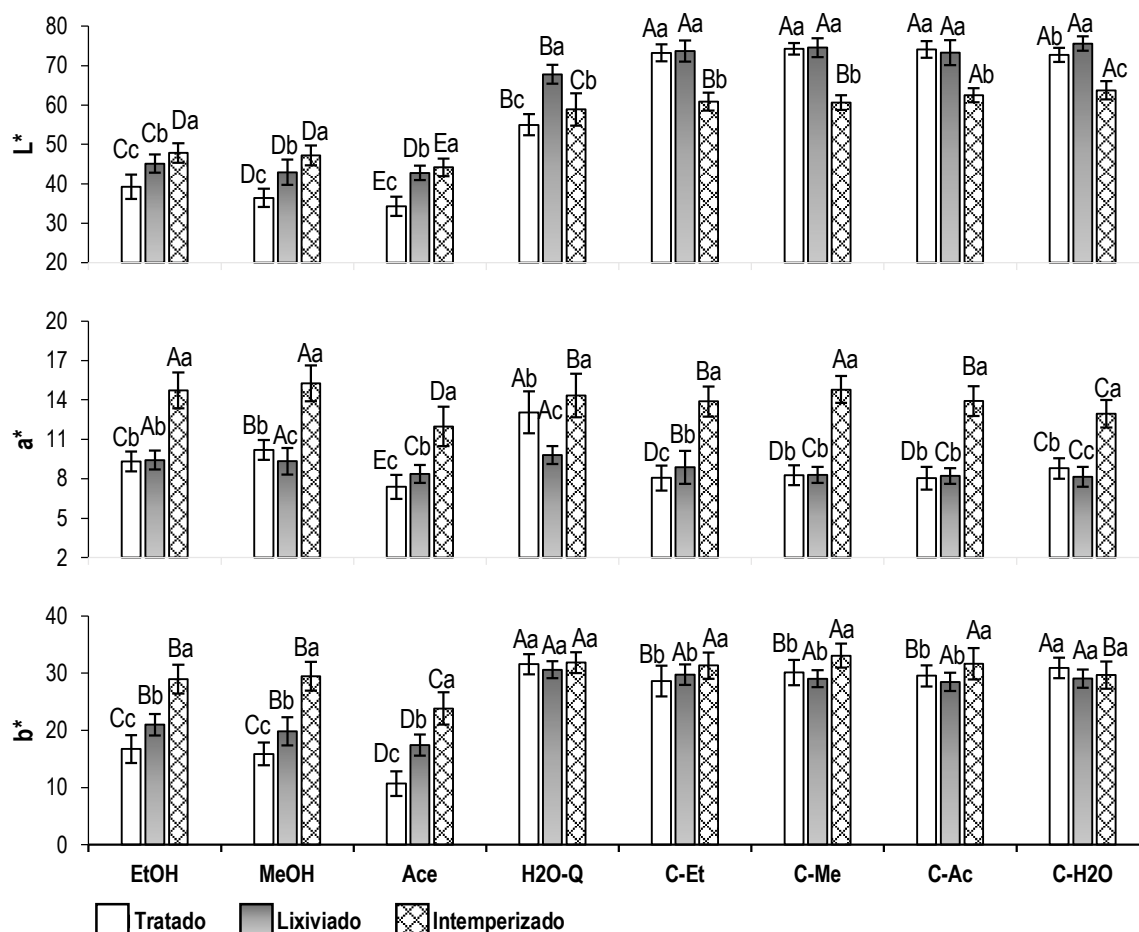
Figura 16 – Plotagem das coordenadas L^* , a^* e b^* na madeira de *P. taeda* em função dos extratos obtidos e empregados no tratamento da madeira.



Fonte: O autor (2019).

Após os ensaios de lixiviação e intemperismo, os resultados das análises estatísticas indicaram diferença significativa entre os extratos e as condições testadas. A comparação dos valores médios de L^* , a^* e b^* em função de cada condição testada está disposta na Figura 17 (face radial) e Figura 18 (face transversal).

Figura 17 – Coordenadas L* a* e b* na face radial madeira de *P. taeda* em função dos extratos e condições de envelhecimento acelerado.



Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre tratamentos ou minúscula dentro de cada tratamento, não diferem (Scott Knott, $p > 0,05$). EtOH, MeOH, Ace, H₂O-Q – extrato teca em etanol, metanol, acetona e água quente; C-Et, C-Me, C-Ac, C-H₂O – respectivos controles (solvente puro). Fonte: O autor (2019).

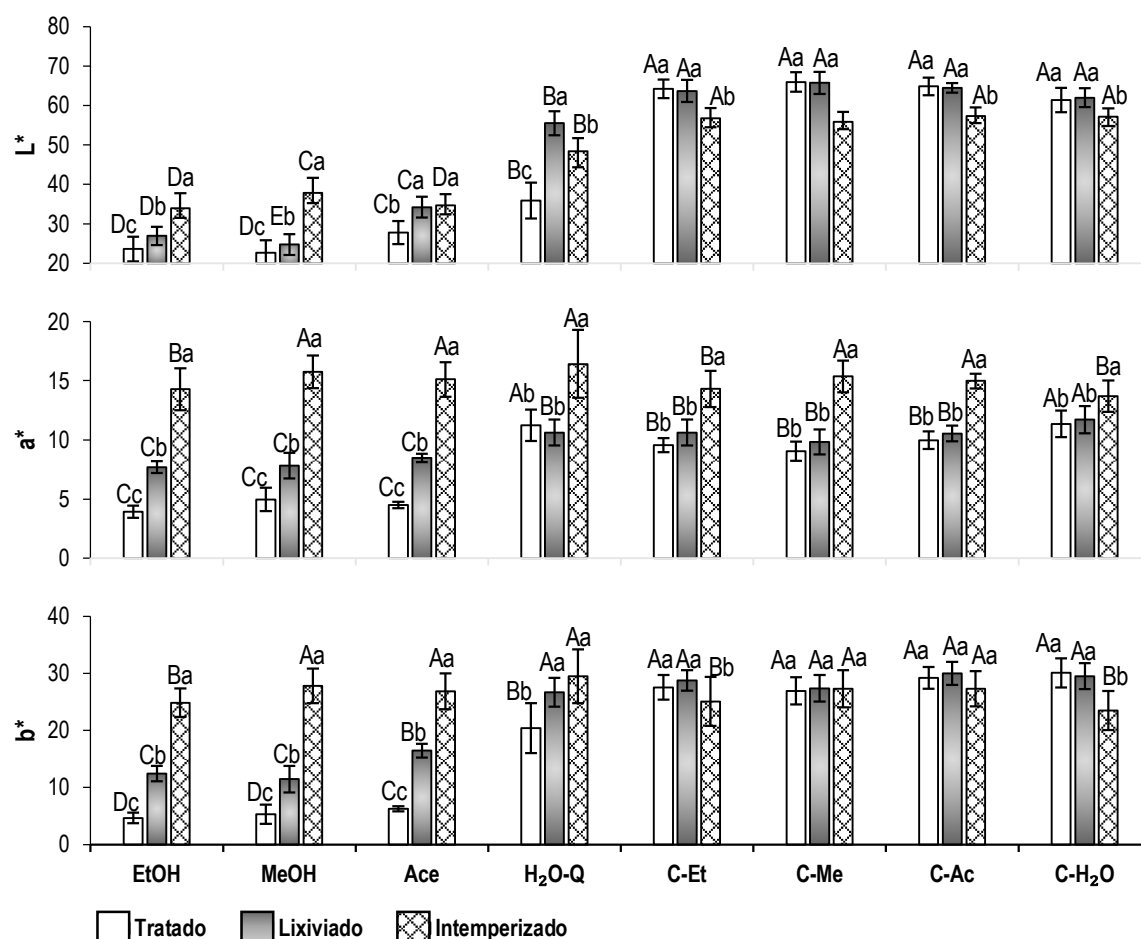
Na face radial, a coordenada L* das amostras controle de pinus, em geral, se mantiveram estáveis após a lixiviação (72-74) e apenas diferiram após a ação do intemperismo acelerado (60-63). Na condição tratado, todos os extratos de teca contribuíram para um escurecimento significativo do pinus. Porém, quando comparado ao extrato H₂O-Q (L*: 55) a coordenada L* foi notavelmente menor nos extratos EtOH (39), MeOH (36) e Ace (34). De modo contrário ao controle, a lixiviação e o intemperismo aumentaram significativamente a luminosidade, alcançando valores de aproximadamente 48, 47 e 44, nos extratos EtOH, MeOH e Ace, respectivamente.

A tonalidade vermelha (a*) variou de 8-9 nas amostras controle testadas. Entre os extratos impregnados essa coordenada variou de forma diferente, havendo uma tendência de aumento nos extratos MeOH e H₂O-Q (a*: 10 e 13, respectivamente) e de redução no extrato em acetona (a*: 7). Entre as situações, o

intemperismo promoveu um aumento claro em todos os extratos e controles, com a^* variando de 13 - 15.

Com relação a tonalidade amarela (b^*), notou-se que os extratos em EtOH (17), MeOH (16) e Ace (11), promoveram uma redução significativa quando comparado ao extrato H_2O -Q e os controles (27-32), com destaque para Ace. A mesma tendência de aumento observada na variável a^* após o intemperismo foi observada na coordenada b^* , porém de forma mais acentuada nos extratos EtOH (29), MeOH (29) e Ace (24), quando comparadas com suas respectivas condições tratadas.

Figura 18 – Coordenadas L^* a^* e b^* na face transversal madeira de *P. taeda* em função dos extratos e condições de envelhecimento acelerado.



Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre tratamentos ou minúscula dentro de cada tratamento, não diferem (Scott Knott, $p > 0,05$). EtOH, MeOH, Ace, H_2O -Q – extrato teca em etanol, metanol, acetona e água quente; C-Et, C-Me, C-Ac, C- H_2O – respectivos controles (solvente puro). Fonte: O autor (2019).

Os valores das amostras controle de pinus na face transversal (Figura 18) para a^* (9-11) e b^* (27-30), foram similares quando comparados com as leituras na face radial, com exceção da coordenada L^* (61-66) que foi menor nesta face. No

entanto os extratos promoveram um escurecimento maior nesta face, com valores de L^* de 24, 23 e 28 para EtOH, MeOH e Ace, respectivamente.

Para esses extratos os valores de a^* e b^* também foram mais baixos quando comparado aos valores da face radial, tendo a coordenada a^* variado de 4-5 e b^* de 5-6. As variações obtidas após a lixiviação e intemperismo foram semelhantes às variações da face radial para as coordenadas L^* , a^* e b^* indicando escurecimento das amostras quando impregnadas com os extratos.

A variação total da cor (ΔE^*) da madeira de pinus (controle) após o tratamento (Tabela 8) indicou que os extratos EtOH, MeOH e Ace produziram alterações expressivas na madeira de pinus, principalmente no extrato Ace na seção radial. Foi também analisada a estabilidade da cor de cada madeira impregnada com os extratos em função do ΔE^* após as condições de lixiviação e intemperismo (Tabela 9).

Tabela 8 – Variação das coordenadas colorimétricas e alterações total da cor (ΔE^*) em relação a madeira controle após tratamento das amostras.

Seção	Tratamento	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Radial	EtOH	-33,97 (2,91)	1,26 (1,14)	-11,90 (3,88)	36,18 c (3,57)
	MeOH	-37,80 (2,40)	1,93 (1,19)	-14,23 (3,55)	40,56 b (3,06)
	Ace	-39,81 (3,68)	-0,66 (1,42)	-18,84 (2,37)	44,13 a (3,62)
	H ₂ O-Q	-17,75 (3,30)	4,25 (1,81)	0,67 (2,81)	18,55 d (3,34)
Transversal	EtOH	-40,66 (3,30)	-5,63 (0,91)	-22,91 (2,03)	47,07 a (3,02)
	MeOH	-43,34 (3,43)	-4,08 (1,36)	-21,68 (3,00)	48,70 a (3,99)
	Ace	-37,10 (3,20)	-5,48 (0,86)	-22,98 (2,03)	44,03 a (3,21)
	H ₂ O-Q	-25,51 (5,62)	-0,12 (1,83)	-9,70 (4,65)	27,54 b (6,41)

Médias seguidas pela mesma letra, para cada seção da madeira, não diferem (Scott Knott, $p > 0,05$). EtOH, MeOH, Ace, H₂O-Q: extrato teca em etanol, metanol, acetona e água quente.

De modo geral, a cor da madeira com os extratos obtidos nos solventes orgânicos (EtOH, MeOH e Ace), foram mais resistentes à lixiviação do que ao intemperismo. Os extratos em Ace provocaram alterações mais intensas na cor após o tratamento, no entanto após a lixiviação apresentaram alterações superiores aos demais extratos. Os extratos em água apresentaram maior variação da cor após a lixiviação, indicando fraco poder de fixação na madeira.

Na comparação realizada com os valores de Hikita, Toyoda e Azuma (2001), na Tabela 4, todos os extratos testados proporcionaram uma classificação da variação total acima da categoria “muito expressiva”, o que indica a significativa mudança da cor original da madeira de pinus. A variação da cor da madeira tratada

com os extratos EtOH, MeOH e Ace (Tabela 9) foi classificada como muito expressiva após as condições de lixiviação e acima desta categoria após a ação do intemperismo acelerado.

Tabela 9 – Variação das coordenadas colorimétricas e alterações total da cor (ΔE^*) em relação a madeira tratada após lixiviação e intemperismo das amostras em função dos extratos de teca utilizados.

Seção	Tratamento	Após Lixiviação				Após Intemperismo			
		ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Radial	EtOH	5,85	0,10	4,26	7,42 b	8,54	5,41	12,23	16,08 a
	MeOH	6,50	-0,86	3,96	8,35 b	10,79	5,06	13,58	18,26 a
	Ace	8,46	0,98	6,73	10,98 a	9,86	4,60	13,13	17,30 a
	H2O-Q	12,80	-3,24	-0,99	13,39 a	3,91	1,29	0,27	5,16 b
Transversal	EtOH	3,35	3,78	7,76	9,60 c	10,33	10,36	20,21	25,21 b
	MeOH	2,13	2,87	6,17	7,86 c	15,20	10,79	22,56	29,46 a
	Ace	6,44	3,98	10,22	13,26 b	6,92	10,61	20,63	24,28 b
	H2O-Q	19,63	-0,61	6,29	20,94 a	12,54	5,19	9,10	17,51 c

Médias seguidas pela mesma letra, para cada seção da madeira, não diferem (Scott Knott, $p > 0,05$). EtOH, MeOH, Ace, H2O-Q: extrato teca em etanol, metanol, acetona e água quente.

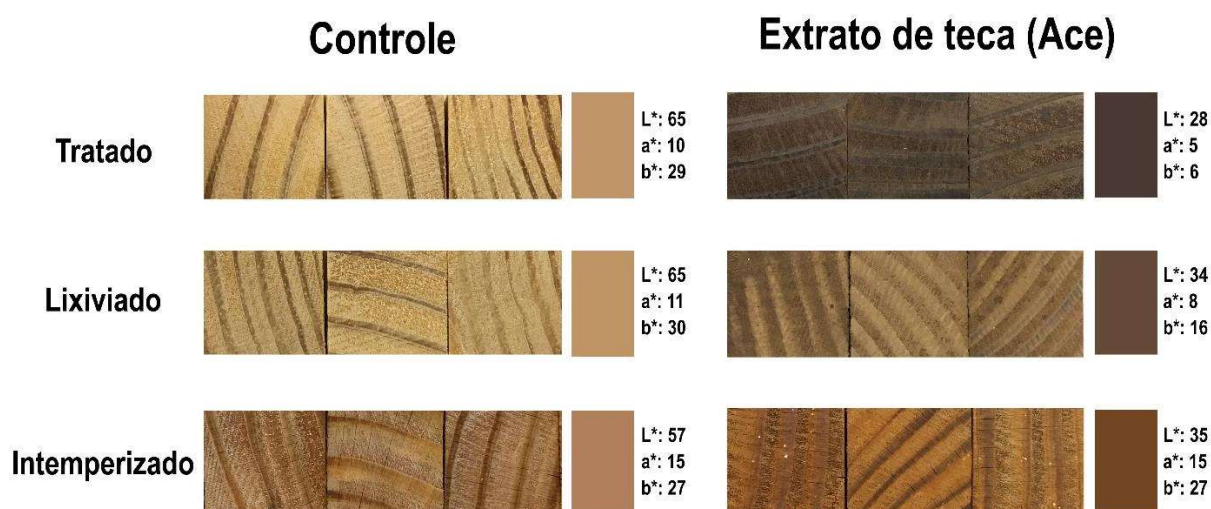
O extrato de teca em etanol testado anteriormente por Brocco et al. (2019), também promoveu alterações significativas na madeira de *Pinus* sp., tendo a madeira tratada apresentado valores de 60, 8 e 26 para as coordenadas L^* , a^* e b^* . Os resultados do presente estudo na concentração de 8% testada permitiram um forte escurecimento (Figura 19) na madeira de *P. taeda* permitindo uma classificação de cor próxima ao marrom escuro, e mesmo após a condição de intemperismo seus valores de L^* (44 - 48) a^* (5 - 12) e b^* (24 - 29) na face radial permitiram classificá-la entre amarelo amarronzado e marrom avermelhado segundo a classificação de Camargos e Gonzalez (2001).

A cor da madeira de teca é em grande parte atribuída aos extrativos presentes no cerne e está relacionada a variação de sua durabilidade natural (MOYA; BERROCAL, 2010). Em geral as coordenadas colorimétricas do cerne da madeira de teca variam 50-60, 5-10 e 20-25 respectivamente para L^* , a^* e b^* (BHAT et al., 2005; BROCCO et al., 2019; KOKUTSE et al., 2006; LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2008). No entanto, quando submetido ao intemperismo acelerado, apresenta alta estabilidade da cor, como mencionado por Garcia et al (2014), que encontraram valor 4 para ΔE^* do cerne de teca após exposição ao intemperismo artificial, embora tenham usado condições menos intensas como 168 horas de exposição, 0,68 W m⁻² de radiação UV e sem simulação de chuva.

O efeito das condições de envelhecimento acelerado na madeira impregnada com os extratos pode ter ocorrido pela foto-oxidação dos componentes da madeira (celulose, lignina e extrativos) e, ou, pela perda dos componentes impregnados (NZOKOU; KAMDEM, 2006). Os efeitos do intemperismo nos extratos e na resistência natural da madeira de *P. taeda* estão discutidos nos itens 4.5 e 4.6.

Os extratos obtidos apresentaram composição majoritária de derivados quinonas (35-37%) e na concentração de 8% utilizada proporcionaram um escurecimento intenso da madeira. De acordo com Rowe (1989), os cernes com colorações nitidamente distintas e peculiares têm sido reportados pelo seu potencial uso na obtenção de corantes. Entre os extrativos isolados do cerne de algumas espécies, incluindo a teca, os compostos fenólicos e aqueles com estrutura quinonoídica se destacam para esse potencial. Uma melhor compreensão desses pigmentos pode contribuir na melhoria de problemas relacionados a cor da madeira.

Figura 19 – Aspecto visual das amostras de *Pinus taeda* antes e após o tratamento com o extrato de teca.



Fonte: O autor (2019).

As antraquinonas, reconhecidos como pigmentos de diversas espécies florestais, são citadas como uma das classes de corantes mais antigas empregadas com sucesso no setor têxtil, indústria de fármacos e como corantes para os mais variados usos como em óleos, ceras, vernizes, graxas, cosméticos e combustíveis (LEONARDO; ROCHA; MENDOZA, 2015; ROWE, 1989; SOUZA et al., 2007; ZANONI; YAMANAKA, 2016).

De acordo com Romangoli et al. (2013), os pigmentos obtidos dos compostos derivados de quinonas possuem coloração que varia desde amarelo, laranja, vermelho e preto. Particularmente, naftoquinonas como o lapachol e dihidro-lapachol, possuem coloração entre amarelo laranja e vermelho, enquanto os outros derivados possuem coloração mais escura (ROMAGNOLI et al., 2013).

Dentre os requisitos ideais para as substâncias corantes estão a estabilidade à luz, especialmente a ultravioleta, resistência à ação do tempo e fixação uniforme (ZANONI; YAMANAKA, 2016). De acordo com os autores citados as antraquinonas possuem vantagens como o brilho e a estabilidade a ação da luz. No entanto a madeira de pinus impregnada com os extratos não apresentou uma alta estabilidade da cor, ainda que sua cor foi modificada de forma expressiva em relação a cor original.

A maioria dos trabalhos que citam o potencial dos extratos da espécie *Tectona grandis* para a produção de corantes utilizaram as folhas para sua extração (MENDOZA et al., 2013; QADARIYAH et al., 2018; SOUZA et al., 2007). A utilização dos resíduos da indústria madeireira é pouco citada para essa obtenção e pode apresentar um potencial para agregar valor aos seus subprodutos, em função do volume de resíduos gerados.

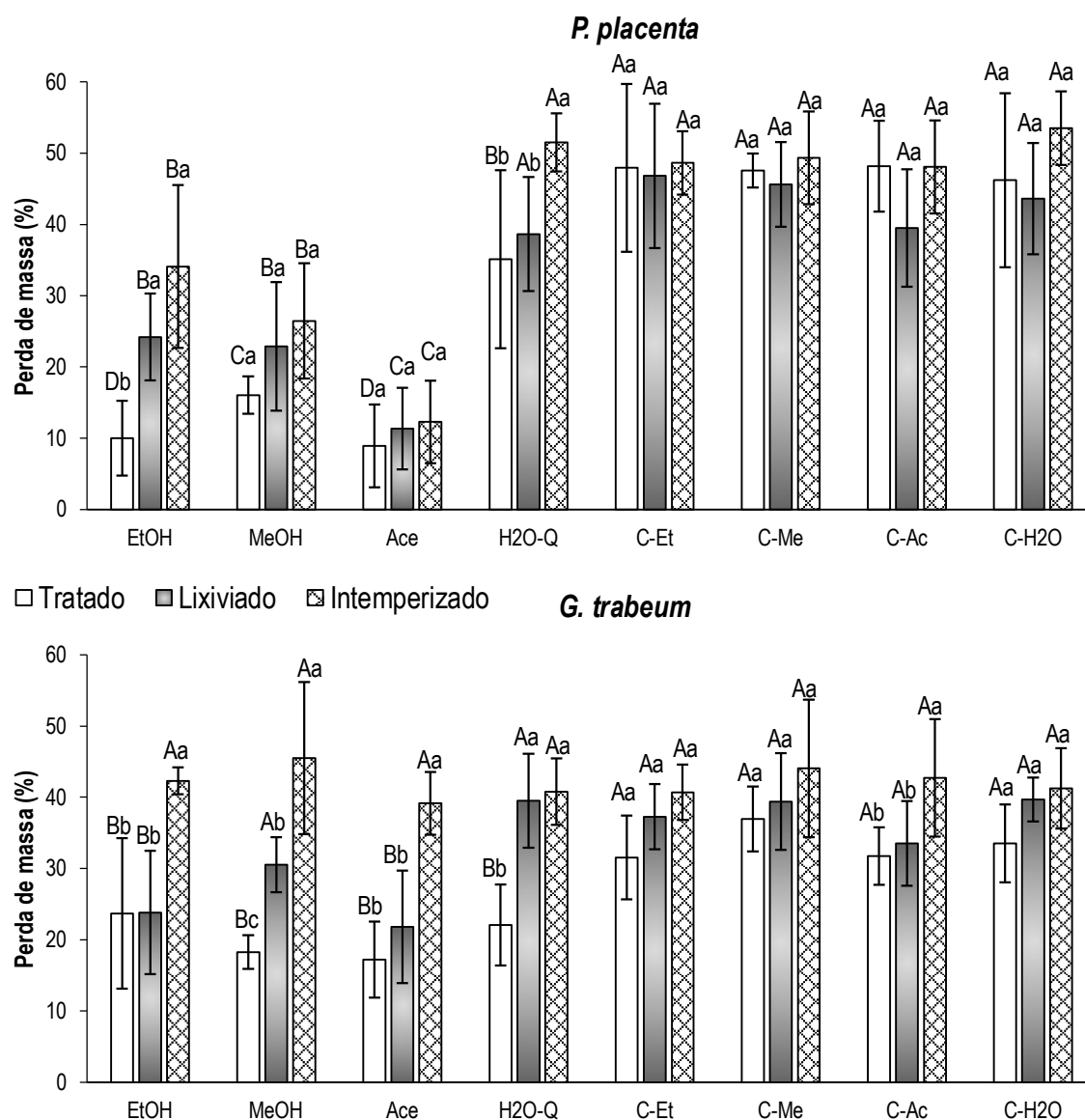
4.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A FUNGOS XILÓFAGOS

A análise de variância (Apêndice A, Tabela 3A) indicou diferença na resistência biológica da madeira para a interação entre os extratos e as condições de intemperismo para os fungos testados, com exceção do *I. lacteus*, em que os fatores, isoladamente, apresentaram diferença significativa. De maneira geral a madeira de pinus foi mais deteriorada pelos fungos *P. placenta* e *G. trabeum* (Figura 20), enquanto os fungos *N. lepideus* e *I. lacteus* promoveram as menores perdas de massa (Figura 21).

Para o fungo *P. placenta*, observou-se que os controles testados obtiveram perdas de massa variando de 40-54% (não resistente) e as condições de intemperismo não alteraram a resistência da madeira sem tratamento. Entre os extratos de teca, o maior valor de perda de massa foi obtido no tratamento com o extrato H₂O-Q (35%), e quando submetido as condições de lixiviação (39%) e

intemperismo (52%) não diferiu das amostras controle. Na condição tratado, sem ação do envelhecimento acelerado, a madeira de pinus com os extratos em acetona (Ace) e etanol (EtOH) apresentaram as menores perdas de massa (9 e 10%, respectivamente), não diferiram entre si e foram classificadas como altamente resistentes (ASTM D-2017, 2005).

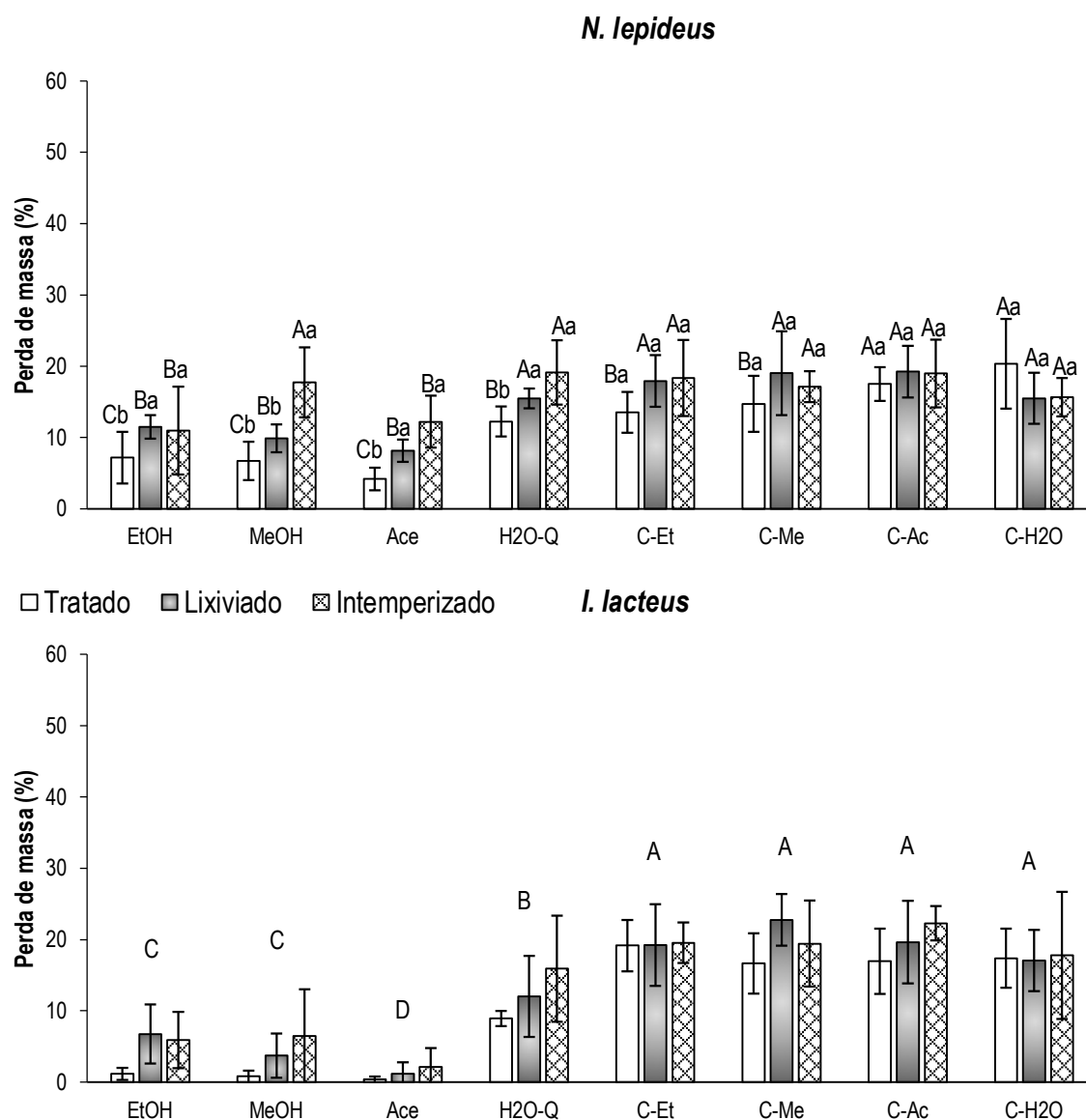
Figura 20 – Perda de massa da madeira de *P. taeda* em função dos extratos e condições testadas para os fungos *P. placenta* e *G. trabeum*.



Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre tratamentos ou minúscula dentro de cada tratamento, não diferem (Scott Knott, $p > 0,05$). EtOH, MeOH, Ace, H₂O-Q – extrato teca em etanol, metanol, acetona e água quente; C-Et, C-Me, C-Ac, C-H₂O – respectivos controles (solvente puro).

Quando submetido às situações de lixiviação e intemperismo, apenas o tratamento com o extrato obtido em acetona manteve o mesmo desempenho exibido na madeira tratada, sem diferença entre as condições testadas. No extrato MeOH, não houve diferença entre as condições testadas, apesar da tendência de aumento da perda de massa após intemperismo. As perdas de massa nas madeiras lixiviadas e intemperizadas com os extratos EtOH (24-34%) e MeOH (23-26%) indicaram classificação de moderada resistência.

Figura 21 – Perda de massa da madeira de *P. taeda* em função dos extratos e condições testadas para os fungos *N. lepideus* e *I. lacteus*.



Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre tratamentos ou minúscula dentro de cada tratamento, não diferem (Scott Knott, $p > 0,05$). EtOH, MeOH, Ace, H₂O-Q – extrato teca em etanol, metanol, acetona e água quente; C-Et, C-Me, C-Ac, C-H₂O – respectivos controles (solvente puro).

Os extratos testados atuaram de forma menos acentuada contra o fungo *G. trabeum*, quando comparado ao *P. placenta*. Para a condição tratada, não houve diferença da perda de massa da madeira impregnada com os extratos EtOH (24%), MeOH (18%), Ace (17%) e H₂O-Q (22%) entre os extratos testados, sendo classificada como resistente ao ataque. Na madeira lixiviada apenas os extratos EtOH e Ace mantiveram o mesmo nível de resistência anterior, enquanto os demais (MeOH e H₂O-Q) não diferiram do controle. Após o intemperismo artificial nenhum extrato testado ofereceu resistência à madeira de pinus, não diferindo da perda de massa das amostras controle (41-44%).

O fungo *N. lepideus* promoveu ataque menos expressivo na madeira de pinus, sendo classificada como resistente nas amostras controle com perdas de massa variando de 15-20%. Mesmo que o ataque não tenha sido tão expressivo, a perda de massa foi reduzida na madeira impregnada com os extratos de teca em EtOH (7%), MeOH (7%) e Ace (4%), alterando a classificação da madeira para altamente resistente. No geral, após a ação do intemperismo houve um ligeiro aumento da perda de massa, em que apenas os extratos EtOH (11%) e Ace (12%) obtiveram as menores perdas, diferindo dos respectivos controles.

No ataque do *I. lacteus* não houve interação entre os fatores testados. As perdas de massa da madeira de *P. taeda* foram menores, quando comparada aos fungos de podridão parda *P. placenta* e *G. trabeum*, e similares as do *N. lepideus*. De maneira geral, as perdas de massa foram similares entre os controles (17-23%) e superior aos extratos testados. O extrato H₂O-Q reduziu ligeiramente as perdas de massa, mas os melhores resultados foram obtidos nos extratos com os solventes orgânicos.

Na condição normal de tratamento com os extratos, as perdas de massa para o *I. lacteus* variaram de 0,4% em Ace a 1% em EtOH e MeOH e foram ligeiramente aumentadas após intemperismo variando de 2% (Ace) a 6% (EtOH e MeOH). Esses extratos classificaram a madeira como de alta resistência, mas, de maneira geral o extrato em acetona foi superior.

As perdas de massa obtidas pelos fungos testados nas amostras controle estão de acordo com o descrito pela norma e literatura, com exceção do fungo de podridão parda *N. lepideus*. De acordo com a norma empregada (AWPA E10-16, 2016) a perda de massa aceitável nas amostras controle de SYP (*Pinus* spp.) para o fungo *N. lepideus* varia de 25-36%. Porém, as perdas obtidas nos controles foram

menores que esse valor de referência, o que poderia indicar perda de capacidade de deterioração da cultura utilizada. No entanto, a influência dos extratos testados na redução da perda de massa ainda deve ser considerada, já que houve um aumento da resistência da madeira.

Em relação ao fungo de podridão branca *I. lacteus*, já era esperado uma perda de massa moderada nas amostras controle em função de sua menor aptidão para atacar coníferas (SCHMIDT, 2006; ZABEL; MORRELL, 1992). Kirker et al. (2013) encontraram perdas semelhantes (10-15%) para os fungos de podridão branca *I. lacteus* e *Trametes versicolor* no controle não tratado de SYP. Em estudo anterior essa perda de massa foi de 14%, para o fungo *T. versicolor* nas amostras controle de pinus (BROCCO et al., 2017).

Os resultados obtidos por Brocco et al. (2017) indicaram que os extratos do cerne externo de teca obtidos em água quente não contribuíram na melhoria da resistência a fungos. Porém, àqueles obtidos em etanol e utilizados na concentração de 4%, contribuíram para ligeira melhoria da resistência nos fungos testados (exceto para *G. trabeum*), alcançando perdas de massa de aproximadamente 38, 18 e 5% para os fungos *P.placenta*, *N. lepideus* e *T. versicolor*, respectivamente.

Mesmo sendo obtidos de resíduos industriais, os extratos obtidos no presente estudo mostraram qualidade na composição química, quanto aos principais compostos reportados para a madeira de teca e foram superiores aos encontrados por Brocco et al. (2017). A concentração de 8% testada e o emprego de outros extratos, como os obtidos em acetona, promoveu ganhos expressivos de resistência, mesmo após as condições de envelhecimento acelerado (exceto para *G. trabeum*).

A maioria dos resultados encontrados na literatura cita que os principais compostos identificados nos extratos de teca, como derivados de quinonas, possuem maior efeito na proteção contra térmitas (HASSAN et al., 2017; ISMAYATI et al., 2016; LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2009; RUDMAN; GAY, 1963).

Poucos estudos testaram esses compostos em nível de tratamento da madeira contra fungos xilófagos. Embora a madeira de teca também apresente elevada resistência a fungos xilófagos, a relação entre os compostos identificados e a resistência a fungos é mais variável, em função dos diferentes mecanismos de ataque dos diversos fungos testados. Lukmandaru (2013) encontrou forte inibição fúngica do esqualeno e tectoquinona para fungos emboloradores, enquanto apenas o deoxilapachol foi efetivo a fungos apodrecedores.

De acordo com Rudman et al. (1958), a tectoquinona quando empregada em concentração de até 1,6% não aumentou a resistência da madeira de *Eucalyptus regnans* a fungos xilófagos. Os resultados de Thulasidas e Bhat (2007) indicaram que a maior presença de naftoquinonas na madeira de teca pode influenciar mais do que a quantidade de tectoquinonas na resistência a fungos xilófagos. Naimké et al (2011; 2012) encontraram maior correlação entre a perda de massa ao fungo *Antrodia* sp. e a composição química da teca para presença de uma naftoquina, embora duas antraquinonas, a tectoquinona ($r=-0,71$) e 2-(hidroximetil) antraquinona ($r=-0,82$) tenham apresentado alta correlação.

No presente estudo a análise CG-MS identificou a presença de uma naftoquinona, o lapachol, em proporção muito inferior aos demais compostos. Thévenom et al. (2001) ao compararem os extratos brutos de teca obtidos em etanol e quinonas comerciais, concluíram que ambos produtos conferiram proteção da madeira de pinus impregnada, porém o tratamento com lapachol apresentou os melhores resultados, com perda de massa de 1,50% e 3,72% nos fungos *P. placenta* e *G. trabeum*, respectivamente, enquanto as perdas na madeira com o extrato bruto foram 9,63% e 3,72%.

Além disso, Thévenom et al. (2001) notaram que o efeito de proteção dos extratos testados permaneceu mesmo após o teste de lixiviação e atribuiu ao fato da natureza hidrofóbica dos compostos extraídos. Os resultados dos referidos autores foram obtidos após seis meses de exposição de ensaio em placa de Petri. Embora nessas condições o ataque seja menos agressivo, os resultados corroboram com os encontrados no presente estudo, principalmente para o extrato em acetona.

Os resultados encontrados por Simatupang e Yamamoto (2000) e Li et al. (2017), também corroboram com a afirmação anterior. De acordo com esses autores, após a remoção dos extrativos em etanol e metanol a madeira de teca teve sua higroscopicidade aumentada. Além disso, quando os extratos de teca em metanol foram impregnados em outra madeira, elevaram sua estabilidade dimensional (Li et al., 2017). Simatupang e Yamamoto (2000) atribuíram a resistência a fungos e estabilidade dimensional da madeira de teca ao efeito sinérgico dos extratos combinados.

De acordo com Haupt et al. (2003), a maior atividade antifúngica dos extratos de teca obtido de várias localidades foi encontrada na extração em acetona:água (9:1). Este extrato foi analisado e apresentou efeito inibitório em

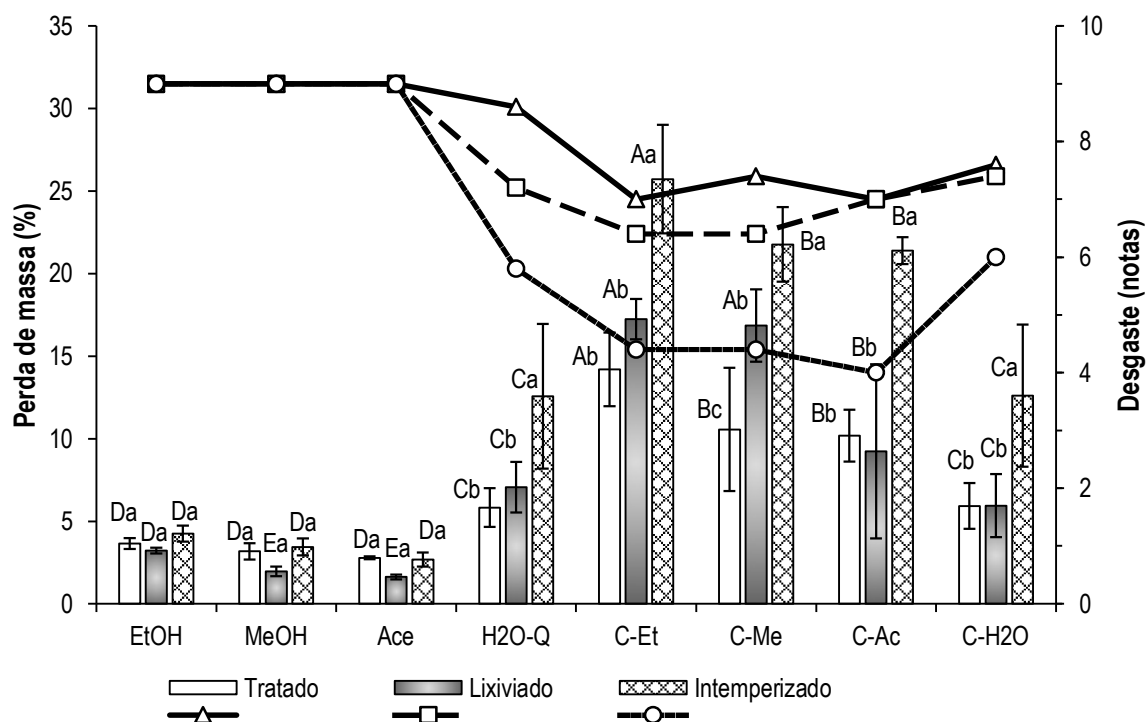
Coniophora puteana (podridão parda), particularmente em função da abundância de tectoquinona. Outros estudos com extratos madeireiros também reportam que os compostos obtidos na extração em acetona apresentaram os melhores resultados na resistência da madeira tratada (DUNGANI et al., 2012; SYOUFUNA et al., 2012).

4.7 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A TÉRMITAS XILÓFAGOS

4.7.1 Ensaio de alimentação forçada

A análise de variância (Apêndice A, Tabela 4A), indicou diferença significativa para perda de massa, desgaste e mortalidade entre os tratamentos e condições testados. Na Figura 22, observou-se que as notas atribuídas pela avaliação visual do desgaste variaram conforme a perda de massa.

Figura 22 – Perda de massa (colunas) e desgaste (linhas) para o ensaio de alimentação forçada em função dos extratos e condições testadas.



Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre tratamentos ou minúscula dentro de cada tratamento, não diferem (Scott Knott, $p > 0,05$). EtOH, MeOH, Ace, H₂O-Q – extrato teca em etanol, metanol, acetona e água quente; C-Et, C-Me, C-Ac, C-H₂O – respectivos controles (solvente puro).

A madeira de *Pinus taeda* impregnada com os extratos testados obteve perda menor que seus respectivos controles (solvente puro), com exceção do extrato obtido em água quente. Os menores valores de perda de massa foram obtidos no extrato em acetona (Ace) e não houve diferença da madeira tratada (2,78%) quando submetida à lixiviação (1,63%) e intemperismo artificial (2,67%). O mesmo padrão foi observado para os extratos etanol (EtOH) e metanol (MeOH).

Nos demais tratamentos, de modo geral, para a madeira impregnada com o extrato em água quente (H₂O-Q) e os controles, apenas a condição de intemperismo artificial alterou significativamente a perda para cada extrato testado, atingindo perdas maiores do que 12%.

Na comparação entre os tratamentos para cada condição testada, o melhor desempenho foi obtido para os extratos EtOH, MeOH e Ace, seja na condição tratada ou intemperizada. Independente das condições testadas, a madeira impregnada com o extrato H₂O-Q não diferiu do controle em água (C-H₂O). Além disso, na condição tratada observou-se diferença significativa entre os controles testados, com variações na perda de massa de 5,92% (C-H₂O) a 14,20% no controle em etanol (C-Et). Quando submetido ao intemperismo artificial a diferença entre esses controles permaneceu alta, variando de 12,60% (C-H₂O) a 25,72% (C-Et).

Na classificação visual do desgaste, as amostras tratadas com os extratos em EtOH, MeOH e Ace receberam classificação de ataque superficial, e mantiveram a mesma nota após serem submetidas ao intemperismo artificial. Enquanto os demais tratamentos e controles foram classificados como ataque severo (nota 6) a muito severo (nota 4) após submetidos à condição de intemperismo.

De maneira geral as térmitas foram mais atraídas pela madeira intemperizada. Gazal et al. (2014) impregnaram discos de papel filtro com os extratos obtidos de madeira intemperizada e encontraram maior atração das térmitas *N. corniger* em relação à amostra controle (solvente puro), indicando que, além do desgaste físico que ocorre na madeira, os compostos modificados durante o intemperismo contribuem para a atração das térmitas. No presente estudo o maior consumo foi observado nas amostras controle intemperizadas, porém o intemperismo artificial não influenciou significativamente na resistência da madeira impregnada com os extratos de teca.

A mortalidade das térmitas (Tabela 10) não variou de forma expressiva entre os extratos e controles testados quando se considerou a condição normal de

tratamento. Quando as amostras foram intemperizadas, notou-se que houve uma redução da mortalidade apenas para as amostras controle, com exceção do controle em água (C-H₂O), em que a mortalidade permaneceu em 100%, no entanto, com uma tendência de maior tempo de sobrevivência das térmitas.

Tabela 10 – Mortalidade e tempo para a morte das térmitas em função do extrato e condição testada.

Extrato	Mortalidade (%)			Tempo para morte (dias)		
	Tratado	Lixiviado	Intemperizado	Tratado	Lixiviado	Intemperizado
EtOH	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	14	14	17
MeOH	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	13	15	17
Acetona	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	14	15	15
H ₂ O-Q	100,00 Aa	100,00 Aa	95,70 Aa (O:14/ S:3)	13	16	-
C-Et	90,25 Ab (O:28/ S:11)	90,00 Ab (O:30/ S:10)	61,37 Bb (O:149/ S:5)	-	-	-
C-Me	96,75 Ab (O:10/ S:3)	76,00 Bc (O:90/ S:6)	47,17 Cb (O:176/ S:35)	-	-	-
C-Ac	100,00 Aa	94,55 Aa (O:19/ S:2)	61,17 Bb (O:131/ S:25)	24	-	-
C-H ₂ O	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	18	16	23

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula (linhas) ou minúscula (coluna), não diferem (Scott Knott, $p > 0,05$). EtOH, MeOH, Ace, H₂O-Q – extrato teca em etanol, metanol, acetona e água quente; C-Et, C-Me, C-Ac, C-H₂O – respectivos controles (solvente puro). Números em parêntesis representam o número médio de operários (O) e soldados (S) vivos ao término do ensaio.

Notou-se também, que mesmo nas amostras impregnadas com solvente puro (controle) a mortalidade foi elevada. De maneira geral, espera-se uma baixa mortalidade das térmitas nas amostras controle como observado em diversos estudos com extratos madeireiros (ELLER et al., 2018; HASSAN et al., 2017; ISMAYATI et al., 2016).

De acordo com Gazal et al. (2010; 2014), a maioria das térmitas xilófagas tendem a preferir madeiras de baixa densidade, no entanto, a origem geográfica das madeiras pode afetar o ataque das térmitas *N. corniger*. Esses autores encontraram, apesar da menor densidade entre as madeiras testadas, baixa preferência e consumo na madeira de *Pinus elliotti*. Esta madeira tem origem e predominância nos Estados Unidos da América, enquanto a espécie *N. corniger* é predominantemente distribuída na região neotropical (FARIA SANTOS et al., 2017). Paes et al. (2015) afirmam que essa espécie de térmita é muito sensível à mudança do hábito alimentar, e geralmente atacam de forma pouco expressiva madeiras com as quais tem pouco contato.

Esses fatos corroboram com os resultados encontrados em pesquisa anterior (BROCCO et al., 2017), em que a mortalidade de *N. corniger* atingiu 100% na madeira de *Pinus* sp. controle ou impregnada com extratos de teca, no entanto o extrato em etanol conferiu menor tempo de vida das térmitas em comparação com o extrato obtido em água quente.

Além da influência da região de origem, compostos específicos contidos na resina presentes nos pinus, como terpenos e seus derivados, podem atuar de forma natural como repelentes em algumas espécies de térmitas (NUNES et al., 2004; QURESHI et al., 2012). De acordo com Lepage et al. (2017), térmitas do gênero *Nasutitermes* sp. são muito sensíveis a esses compostos supracitados.

O fato de a perda de massa ter sido maior nos controles com solventes puros permite afirmar que esses compostos podem ter sido solubilizados e assim, contribuído para o aumento do consumo da madeira. Um ligeiro efeito do solvente também foi observado por outros estudos ao comparar o tratamento controle na madeira de pinus impregnada somente em etanol e água (ELLER et al., 2018; HASSAN et al., 2018; KIRKER et al., 2016).

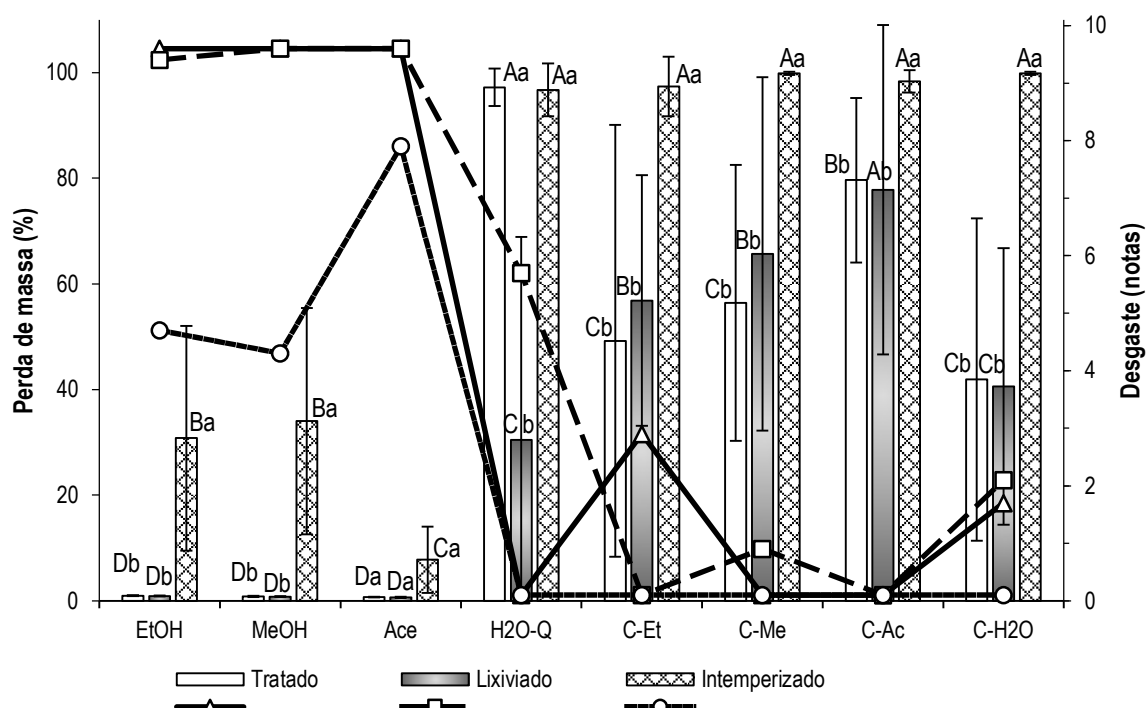
4.7.2 Ensaio de preferência alimentar a térmitas subterrâneos

Quando submetidas à situação extrema do ataque, na presença da colônia inteira de *N. corniger*, os resultados obtidos indicaram elevada preferência pela madeira tratada com o extrato em água quente (H₂O-Q) e as amostras controle, sendo completamente consumidas em alguns casos (Figura 23 e 24).

Os resultados indicaram que as amostras tratadas com os extratos EtOH, MeOH e Ace apresentaram melhores níveis de resistência com perdas de massa menor que 1% e sem diferenças entre a condição tratada e lixiviada. Para esses extratos e condições a madeira recebeu classificação próxima ao estado sadio (nota 9,5).

No entanto, quando submetidas ao intemperismo, os tratamentos em EtOH e MeOH exibiram alta perda de massa (30 e 34%, respectivamente) e um ataque severo. Apenas o extrato em acetona conferiu um bom nível de resistência após o intemperismo, com a perda de massa de 7,78% e classificação moderada do ataque (nota 8). Apesar de superior, a perda de massa não diferiu significativamente dentro das condições testadas para o extrato em acetona.

Figura 23 – Perda de massa (colunas) e desgaste (linhas) para o ensaio de preferência alimentar em função dos extratos e condições testadas.



Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre tratamentos ou minúscula dentro de cada tratamento, não diferem (Scott Knott, $p > 0,05$). EtOH, MeOH, Ace, H₂O-Q – extrato teca em etanol, metanol, acetona e água quente; C-Et, C-Me, C-Ac, C-H₂O – respectivos controles (solvente puro).

Houve grande variação da perda de massa nos tratamentos com o extrato em água quente (H₂O-Q) e nos demais controles, mas de maneira geral as perdas de massa nesse extrato e nos controles foram superiores a 40% na condição normal (tratada) e apresentaram elevado desgaste com ruptura (falha) nas amostras (nota 0-2,8). Quando submetidas ao intemperismo acelerado, as amostras tratadas com extratos em H₂O-Q e os controles foram completamente consumidas (Figura 24).

Os resultados obtidos em ensaio de preferência alimentar em estudo anterior (BROCCO et al., 2017) indicaram que os extratos de teca em água quente não alteraram a resistência da madeira de *Pinus* sp. No entanto os extratos em acetona e metanol e as condições de envelhecimento acelerado não haviam sido testadas.

Para a madeira de *P. taeda* impregnada com extratos de teca obtido em etanol em concentrações até 1%, Hassan et al. (2018) observaram que o efeito da lixiviação afetou expressivamente a resistência da madeira tratada à térmita subterrâneo *Heterotermes indicola*, no entanto condições de intemperismo artificial não foram testadas por esses autores. O presente estudo indica que na

concentração empregada (8%) o tempo de lixiviação testado não afetou a resistência da madeira tratada às térmitas e uma tendência dos extratos obtidos em acetona resistirem mais ao afeito do intemperismo acelerado.

Figura 24 – Aspecto visual das amostras de *P. taeda* após ensaio de preferência alimentar.

Extrato	Condição		
	Normal	Lixiviado	Intemperizado
EtOH			
MeOH			
Ace			
H ₂ O-Q	-----		-----
C-Et			
C-Me			-----
C-Ac			-----
C-H ₂ O			-----

EtOH, MeOH, Ace, H₂O-Q; C-Et, C-Me, C-Ac, C-H₂O – etanol, metanol, acetona, água quente e controle (solventes), respectivamente. Fonte: O autor (2019).

A presença de antraquinonas e seus derivados na madeira de teca tem sido reportada por seu forte efeito termiticida. Embora a constituição majoritária desses compostos tenha sido semelhante entre os extratos obtidos, foi encontrado um maior número de compostos identificados pela análise de CG-MS no extrato em acetona, o que pode contribuir para essa superioridade na resistência. Syoufuna et al. (2012) encontraram superioridade na resistência a térmitas para os extratos das madeiras de *Milicia excelsa* e *Albizia coriaria* obtidos em acetona em detrimento do extrato aquoso e hexânico.

Os resultados encontrados por Dungani et al. (2012) em discos de papel filtro indicaram que os extratos obtidos em acetona da madeira de teca de várias localidades foram os que atuaram de forma mais tóxica às térmitas subterrâneas *Coptotermes curvignathus* em concentrações acima de 6%. Em ensaios com discos de papel filtro impregnados com extratos de teca, Ismayati et al. (2016) encontraram forte ação termiticida para os extratos em etanol e acetona, sem diferença significativa entre si, embora encontraram maior teor de 2-MAQ (tectoquinina) para os extratos em acetona quando comparado ao obtido em etanol e clorofórmio.

Uma maior proporção de tectoquinona na madeira de teca foi encontrada na extração em acetona no estudo de Rizanti et al. (2018). Além disso, os resultados de Balfas (2019) e Rizanti et al. (2018) indicaram que a composição e teor dos extrativos da teca afeta em algum nível a estabilidade dimensional e higroscopicidade da madeira, além da capacidade de alguns compostos atuarem como antioxidantes (NZOKOU; KAMDEM, 2006). Em função disso e dos resultados encontrados de resistência a térmitas e fungos, o extrato em acetona foi mais efetivo e conferiu uma melhor resistência ao intemperismo.

5 CONCLUSÕES

Nos resíduos do processamento industrial da madeira de teca (serragem) utilizados foram identificados compostos de reconhecida influência na durabilidade e cor da madeira, sendo majoritariamente derivados de quinonas, com destaque para a tectoquinona.

Os extratos obtidos na concentração utilizada garantiram uma retenção adequada e um escurecimento expressivo na madeira de *Pinus taeda*. Mesmo não mantendo a mesma cor após lixiviação e intemperismo, a melhoria do padrão colorimétrico ainda foi expressiva, quando comparado à cor original do pinus.

Os extratos em etanol, metanol e acetona garantiram elevada resistência aos fungos e principalmente às térmitas testadas. Nas situações de ataque mais intenso, os extratos em acetona foram os mais resistentes, principalmente para as amostras submetidas ao envelhecimento acelerado.

Os resíduos do processamento da madeira de teca contêm substâncias com potencial de uso em setores como os de tratamento e cor da madeira, podendo contribuir para ampliar usos já consagrados, como nos setores de construção civil, naval e movelaria.

Diante dos resultados obtidos, recomenda-se a realização de ensaios mais realísticos (simuladores de campo e em campos de apodrecimento), a fim de verificar os efeitos a longo prazo com o extrato obtido em acetona. Além disso, são necessários estudos para determinar sua viabilidade técnica e econômica.

Os resíduos da indústria madeireira, comumente utilizados como fonte energética, podem ser destinados para outros setores, como têxtil, farmacêutico, cosméticos e tratamentos para a melhoria da cor e durabilidade da madeira, possibilitando assim integrar diversas áreas da ciência e tecnologia, com vistas ao uso de fontes naturais e renováveis, que devem ser valorizadas e melhor aproveitadas, com benefícios para a sociedade e meio ambiente.

6 REFERÊNCIAS

ADEGEYE, A.O.; OGUNSANWO, O.Y.; OLAJUYIGBE, S.O. Antifungal activities of heart wood extract (HWE) of teak *Tectona grandis* against two white rots in woods of *Gmelina arborea* and *Triplochiton scleroxylon*. **Academic Journal of Plant Sciences**, v. 2, n. 4, p. 279-285, 2009

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1107**: Standard test method for ethanol-toluene solubility of wood. Annual Book of ASTM Standard, Philadelphia, 2005, 2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1110**: Standard test methods for water solubility of wood. Annual Book of ASTM Standard, Philadelphia, 2005, 2p.

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

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G 154**: Standard practice for operating fluorescent light apparatus for UV exposure of nonmetallic materials. Philadelphia: ASTM, 2006. 4p.

ANTWI-BOASIAKO, C.; DAMOAH, A. Investigation of synergistic effects of extracts from *Erythrophleum suaveolens*, *Azadirachta indica*, and *Chromolaena odorata* on the durability of *Antiaris toxicaria*. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 64, n. 2, p. 97-103, 2010.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. **AWPA Book of Standards**, Birmingham, 2016. 642p.

BALFAS, J. impregnation of teak extract and resins in rubberwood and fast-grown teak wood. **Journal of Tropical Forest Science** , v. 31, n. 2, p. 189-199, 2019.

AVÉ, D. A. Stimulation of feeding: insect control agents. In: CHAPMAN, R. F.; DE BOER, G. (Eds.). **Regulatory mechanisms in insect feeding**. Boston: Springer, 1995. p. 345-363.

BECKER, G. Physiological influences on wood-destroying insects of wood compounds and substances produced by microorganisms. **Wood Science and Technology**, v. 5, n. 3, p. 236-246, 1971.

BREZNAK, J. A. Intestinal microbiota of termites and other xylophagous insects. **Annual Review of Microbiology**, v. 36, n. 1, p. 323-323, 1982.

BHAT, K. M. et al. Wood durability of home-garden teak against brown-rot and white-rot fungi. **Trees - Structure and Function**, v. 19, n. 6, p. 654-660, 2005.

BOLIN, C. A.; SMITH, S. Life cycle assessment of ACQ-treated lumber with comparison to wood plastic composite decking. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 6, p. 620-629, 2011.

BRAND, M. A.; ANZALDO, J.; MORESCHI, J. C. Novos produtos para o tratamento preservante da madeira. "Perspectivas da pesquisa e utilização". **Floresta**, v. 36, n. 1, p. 129-138, 2006.

BROCCO, V. F. et al. Potential of teak heartwood extracts as a natural wood preservative. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2093-2099, 2017.

BROCCO, V. F. PAES, J. B.; GONÇALVES, L.G.; KIRKER, G. T.; BRAZOLIN, S. Wood color changes and termiticidal properties of teak heartwood extract used as a wood preservative. **Holzforschung**, 2019. No Prelo.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; FURTADO, E. L. Decay resistance of thermally-modified *Eucalyptus grandis* wood at 140°C, 160°C, 180°C, 200°C and 220°C. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 23, p. 9391-9394, 2010.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. Applied colorimetry as instrument in the elaboration of a timber color chart. **Brasil Florestal**, v. 71, p. 30-41, 2001.

CARTER, F. L. et al. Responses of *Coptotermes formosanus* Shiraki to extracts from five Brazilian hardwoods. **Journal of Applied Entomology**, v. 95, n. 1-5, p. 5-14, 1989.

CARTER, F. L.; SMYTHE, R. V. Feeding and survival responses of *Reticulitermes flavipes* (Kollar) to extractives of wood from 11 coniferous genera. **Holzforschung**, v. 28, n. 2, p. 41-45, 1974.

CHANG, H.-T. et al. Antifungal activity of essential oil and its constituents from *Calocedrus macrolepis* var. *formosana* florin leaf against plant pathogenic fungi. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 14, p. 6266-6270, 2008.

CLAUSEN, C. A. Biodeterioration of wood. In: **Wood handbook**: wood as an engineering material. Wisconsin: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. cap. 14, p. 1-15 (General Technical Report, FPL-GTR-190).

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE - CIE. **Colorimetry**. Part 4: CIE 1976 (L*a*b*) System. 2. ed. Vienna; 1986. (CIE, 15.2).

COMSTOCK, G. L.; CÔTÉ JR, W. A. Factors affecting permeability and pit aspiration in coniferous sapwood. **Wood Science and Technology**, v. 2, p. 279-291, 1968.

CORNELIUS, M. L.; OSBRINK, W. L. A. Natural resistance of exotic wood species to the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae). **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 101, p. 8-11, 2015.

DHAWAN, D.; GUPTA, J. Comparison of different solvents for phytochemical extraction potential from *Datura metel* plant leaves. **International Journal of Biological Chemistry**, v. 11, n. 1, p. 17-22, 2017.

DUNGANI, R.; BHAT, I. U. H.; ABDUL KHALIL, H.P.S., NAIF, A.; HERMAWAN, D. Evaluation of antitermitic activity of different extracts obtained from Indonesian teakwood (*Tectona grandis* L.f). **BioResources**, v. 7, n. 2, p. 1452-1461, 2012.

ELLER, F. J. et al. Hexadecyl ammonium chloride amylose inclusion complex to emulsify cedarwood oil and treat wood against termites and wood-decay fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 129, p. 95-101, 2018.

FARIA SANTOS, A. et al. Phylogeography of *Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae) in the neotropical region. **BMC Evolutionary Biology**, v. 17, n. 230, p. 1-12, 2017.

FERAYDONI, V.; HOSSEINIHASHEMI, S. K. Effect of walnut heartwood extractives, acid copper chromate, and boric acid on white-rot decay resistance of treated beech sapwood. **BioResources**, v. 7, n. 2, p. 2393-2402, 2012.

FRAZIER, J. L.; CHYB, S. Use of feeding inhibitors in insect control. In: **Regulatory mechanisms in insect feeding**. Boston: Springer, 1995. p. 364-381.

GARCIA, R. A. et al. Color stability of weathered heat-treated teak wood. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 16, n. 4, p. 453-462, 2014.

GASCÓN-GARRIDO, P. et al. Resistance of wood modified with different technologies against Mediterranean termites (*Reticulitermes* spp.). **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 82, p. 13-16, 2013.

GAZAL, V. et al. Behavioral responses of the arboreal termite *Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae) to wood extracts. **Wood Science and Technology**, v. 48, n. 3, p. 581-590, 2014.

GAZAL, V.; BAILEZ, O.; VIANA-BAILEZ, A. M. Wood preference of *Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae). **Sociobiology**, v. 55, n. 2, p. 433-444, 2010.

GONZÁLEZ-LAREDO, R. F. et al. Wood preservation using natural products. **Madera y bosques**, v. 21, p. 63-76, 2015.

HAMAD, Y. K. et al. Activity of plant extracts/essential oils against three plant pathogenic fungi and mosquito larvae: GC/MS analysis of bioactive compounds. **BioResources**, v. 14, n. 2, p. 4489-4511, 2019.

HASHIM, R. et al. Evaluation of the decay resistance properties of *Cerbera odollam* extracts and their influence on properties of particleboard. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 63, n. 8, p. 1013-1017, 2009.

HASSAN, B. et al. Effects of heartwood extractives on symbiotic protozoan communities and mortality in two termite species. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 123, p. 27-36, 2017.

HASSAN, B. et al. **Effects of teak, *Tectona grandis* Linn, heartwood extractives against *Heterotermes indicola* (Isoptera : Rhinotermitidae)**. Stockholm: The International Research Group on Wood Protection, 2018. (Doc. IRG/WP 18-10910).

HASSAN, B. et al. Ex-situ performance of extracts from naturally durable heartwood species and their potential as wood preservatives. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 77, n. 5, p. 869-878, 2019.

HAUPT, M. et al. Heartwood extractives and natural durability of plantation-grown teakwood (*Tectona grandis* L.) a case study. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 61, n. 6, p. 473-474, 2003.

HIKITA, Y.; TOYODA, T.; AZUMA, M. Weathering testing of timber: discoloration. In: IMAMURA, Y. **High performance utilization of wood for outdoor uses**. Kyoto: Press-Net, 2001.

HILLIS, W. E. Distribution, properties and formation of some wood extractives. **Wood Science and Technology**, v. 5, n. 4, p. 272-289, 1971.

HILLIS, W. E. Historical uses of extractives and exudates. In: ROWE, J. W. (Ed.). **Natural products of woody plants: chemicals extraneous to the lignocellulosic cell wall**. Berlin: Springer, 1989. p. 1-13.

HOSSEINI HASHEMI, S. K.; JAHAN LATIBARI, A. Evaluation and identification of walnut heartwood extractives for protection of poplar wood. **BioResources**, v. 6, n. 1, p. 59-69, 2011.

HUNT, G.M.; GARRATT, G.A. **Wood preservation**. 3. ed. New York: Mc Graw-Hill, 1967. 433p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório anual 2017**. Disponível em: < https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf >. Acesso em: 20 jun. 2018.

KAMALUDDIN, N.; MATSUYAMA, S.; NAKAGAWA-IZUMI, A. Feeding deterrence to *Reticulitermes speratus* (Kolbe) by *Fibroporia radiculosa* (Peck) Parmasto 1968. **Insects**, v. 8, n. 1, p. 29, 2017.

KARTAL, S. N. et al. Effect of essential oil compounds and plant extracts on decay and termite resistance of wood. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 64, n. 6, p. 455-461, 2006.

KARTAL, S. N. et al. Bioremediation and decay of wood treated with ACQ, micronized ACQ, nano-CuO and CCA wood preservatives. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 99, p. 95-101, 2015.

KIRKER, G. T. et al. **Evaluating naturally durable wood species for repair and rehabilitation of above-ground components of covered bridges**. Madison: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory 2013a, 43p. (General Technical Report, FPL-GTR-224).

KIRKER, G. T. et al. The role of extractives in naturally durable wood species. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 82, p. 53-58, 2013b.

KIRKER, G. T.; BISHELL, A. B.; ZELINKA, S. L. Electrical properties of wood colonized by *Gloeophyllum trabeum*. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 114, p. 110-115, 2016.

KLIGMAN, A. M.; ROSENSWEIG, W. A simple quantitative method for the laboratory assay of fungicides. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 10, n. 2, p. 51-58, 1948.

KOKUTSE, A. D. et al. Decay resistance of Togolese teak (*Tectona grandis* L.) heartwood and relationship with colour. **Trees**, v. 20, p. 219-223, 2006.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**: wood based materials. New York: Springer Verlag, 1975. v.2., 703p.

KONICA MINOLTA. **Precise color communication**: color control from perception to instrumentation. Konica Minolta Sensing Inc., 2007. 62 p.

KRISHNA, M. S.; NAIR, A. J. Antibacterial, cytotoxic and antioxidant potential of different extracts from leaf, bark and wood of *Tectona grandis*. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research**, v. 2, n. 2, p. 155-158, 2010.

LEBOW, S. T. Wood preservation. In: **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 15, p. 1-44. (General Technical Report, FPL-GTR-190).

LEONARDO, F. V. S.; ROCHA, H. F.; MENDOZA, Z. M. S. H. Compostos químicos em teca. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 315-322, 2015.

LEPAGE, E.S. et al. Métodos de tratamento. In: LEPAGE, E.S., (Coord.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v. 2., p. 343-419.

LEPAGE, E. S. et al. **Tecnologia de proteção da madeira**. São Paulo: Montana Química, 2017. 225p.

LI, T. et al. Characterization of *Tectona grandis* extractives by GC-MS and IR and their Infusion into rubberwood to modify dimensional stability. **BioResources**, v. 12, n. 3, p. 4500-4514, 2017.

LIN, L.-D. et al. Leachability, metal corrosion, and termite resistance of wood treated with copper-based preservative. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 63, n. 4, p. 533-538, 2009.

LIU, Y. **Study on the termiticidal components of *Juniperus virginiana*, *Chamaecyparis nootkatensis* and *Chamaecyparis lawsoniana***. 2004, 61f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais Renováveis) - Louisiana State University, Baton Rouge, 2004.

LUKMANDARU, G.; OGIYAMA, K. Bioactive compounds from ethyl acetate extract of teakwood (*Tectona grandis* L.f). PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Proceedings...** Pacifico Yokohama, 2005.

LUKMANDARU, G. Antifungal activities of certain components of teak wood extractives. **Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis**, v. 11, n. 1, p. 11-18, 2013.

LUKMANDARU, G.; ASHITANI, T.; TAKAHASHI, K. Color and chemical characterization of partially black-streaked heart-wood in teak (*Tectona grandis*). **Journal of Forestry Research**, v. 20, n. 4, p. 377-380, 2009.

LUKMANDARU, G.; TAKAHASHI, K. Variation in the natural termite resistance of teak (*Tectona grandis* Linn. fil.) wood as a function of tree age. **Annals of Forest Science**, v. 65, n. 7, p. 708-716, 2008.

LUKMANDARU, G.; TAKAHASHI, K. Radial distribution of quinones in plantation teak (*Tectona grandis* L.f.). **Annals of Forest Science**, v. 66, p. 605-605, 2009.

MEDEIROS, F. C. M. et al. Fungicidal activity of essential oils from Brazilian Cerrado species against wood decay fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 114, p. 87-93, 2016.

MELLOUK, H. et al. Total valorisation of red cedar (*Thuja plicata*) sawmills wastes. Isolation of extractives and production of activated carbon from the solid residue. **BioResources**, v. 3, n. 4, p. 1156-1172, 2008.

MORTABIT, D.; ZYANI, M.; KORAICHI, S. I. Biological control of wood decay fungi by *Streptomyces* strains's extract. **International Journal of Innovation and Scientific Research**, v. 14, n. 1, p. 100-103, 2015.

MOTTA, J. P. et al. Natural resistance of *Tectona grandis* wood in laboratory assay. **Ciência Rural**, v. 43, n. 8, p. 1393-1398, 2013.

MOYA, R.; BERROCAL, A. Wood colour variation in sapwood and heartwood of young trees of *Tectona grandis* and its relationship with plantation characteristics, site, and decay resistance. **Annals of Forest Science**, v. 67, n. 1, p. 109-109, 2010.

MOYA, R.; BOND, B.; QUESADA, H. A review of heartwood properties of *Tectona grandis* trees from fast-growth plantations. **Wood Science and Technology**, v. 48, n. 2, p. 411-433, 2014.

MUN, S. P.; PREWITT, L. Antifungal activity of organic extracts from *Juniperus virginiana* heartwood against wood decay fungi. **Forest Products Journal**, v. 61, n. 6, p. 443-449, 2011.

MYO AUNG, U. **Preliminary study on anthraquinone extractives in teak.** Yezin: Forest Research Institute, 33p. (Leaflet, 8/87-88).

NAKAYAMA, F. S. et al. Guayule as a wood preservative. **Industrial Crops and Products**, v. 14, n. 2, p. 105-111, 2001.

NEMLI, G. et al. Evaluation of the mechanical, physical properties and decay resistance of particleboard made from particles impregnated with *Pinus brutia* bark extractives. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 16, p. 2059-2064, 2006.

NIAMKÉ, F. B. et al. Relationships between biochemical attributes (non-structural carbohydrates and phenolics) and natural durability against fungi in dry teak wood (*Tectona grandis* L. f.). **Annals of Forest Science**, v. 68, n. 1, p. 201-211, 2011.

NIAMKÉ, F. B. et al. 4',5'-Dihydroxy-epiisocatalponol, a new naphthoquinone from *Tectona grandis* L. f. heartwood, and fungicidal activity. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 74, n. 1, p. 93-98, 2012.

NUNES, L. et al. Toxicity of pine resin derivatives to subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 15, n. 5, p. 521-528, 2004.

NZOKOU, P.; KAMDEM, D. P. Influence of wood extractives on the photo-discoloration of wood surfaces exposed to artificial weathering. **Color Research & Application**, v. 31, n. 5, p. 425-434, 2006.

OLIVEIRA, A. M. F. et al. Agentes destruidores da madeira. In: LEPAGE, E. S. (Ed.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v. 1., p. 99-256.

OLIVEIRA, J. T. S. et al. Influence of extracts in decay resistance of six wood species. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005.

ONUORAH, E. O. The wood preservative potentials of heartwood extracts of *Milicia excelsa* and *Erythrophleum suaveolens*. **Bioresource Technology**, v. 75, n. 2, p. 171-173, 2000.

ÖZGENÇ, Ö.; DURMAZ, S. **Anti-fungal activity on some wood extracts as a wood protectant**. Stockholm: The International Research Group on Wood Protection, 2016. (Doc. IRG/WP 16-30684).

PAES, J. B. et al. Resistance of thermally treated woods to *Nasutitermes corniger* in a food preference test. **Madera y Bosques**, v. 21, n. 1, p. 157-164, 2015a.

PAES, J. B. et al. Efeitos dos extrativos e da densidade na resistência natural de madeiras ao térmita *Nasutitermes corniger*. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 569-578, 2015b.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M., LIMA, C. R. . Resistência natural de nove madeiras do Semi-Árido brasileiro a cupins subterrâneos, em ensaio de preferência alimentar. **Brasil Florestal**, v. 20, n.72, p. 59-69, 2001.

PAES, J. B.; RAMOS, I. E. C. ; FARIAS SOBRINHO, D. W. Eficiência do CCB na resistência da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.) a cupins subterrâneos (*Nasutitermes corniger* Motsch.) em ensaio de preferência alimentar. **Ambiência**, v. 2, n.1, p. 51-64, 2006.

PAES, J. B. et al. Biological resistance of thermally treated *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson and *Pinus taeda* L. woods against xylophagous termites. **Revista Árvore**, v. 40, n. 3, p. 535-541, 2016.

PAES, J. B.; MELO, R. R.; LIMA, C. R. Natural resistance of seven woods to xylophagous fungi and termites under laboratory condition. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 160-169, 2007.

PALANTI, S.; SUSCO, D. A new wood preservative based on heated oil treatment combined with triazole fungicides developed for above-ground conditions. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 54, n. 4, p. 337-342, 2004.

PRATIWI, L. A. et al. Characterization of thermally modified short and long rotation teaks and the effects on coatings performance. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 21, n. 2, p. 209-222, 2019.

PREMRASMI, T.; DIETRICH, H. H. Nature and distribution of extractives in teak (*Tectona grandis* LINN.) from Thailand. **The Natural History Bulletin of Siam Society**, v. 22, n. 1-2, p. 1-14, 1967.

QADARIYAH, L. et al. Natural dye extraction from teak leaves (*Tectona grandis*) using ultrasound assisted extraction method for dyeing on cotton fabric. **MATEC Web of Conferences**, v. 156, n. 05004, p. 1-4, 2018.

QIU, H. et al. Analysis of chemical composition of extractives by acetone and the chromatic aberration of teak (*Tectona grandis* L.F.) from China. **Molecules**, v. 24, n. 10, p. 1-11, 2019.

QURESHI, N. A. et al. Fumigant toxicity of *Mentha arvensis* leaves extracts on *Coptotermes heimi*, *Heterotermes indicola* and their gut flagellates. **Sociobiology**, v. 59, n. 4, p. 1509-1520, 2012.

RAYA-GONZÁLEZ, D.; MARTÍNEZ-PACHECO, M. M.; RIO-TORRES, R. E. N. Efecto disuasivo de un extracto acuoso de *Enterolobium cyclocarpum* (JACQ.) GRISEB. **Entomología Mexicana**, v. 1, p. 580-585, 2014.

RICHARDSON, B. A. **Wood preservation**. 2.ed. London: E&FN SPON, 1993. 226 p.

RINGMAN, R.; PILGÅRD, A.; RICHTER, K. Effect of wood modification on gene expression during incipient *Postia placenta* decay. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 86, p. 86-91, 2014.

RIZANTI, D. E. et al. Comparison of teak wood properties according to forest management: short versus long rotation. **Annals of Forest Science**, v. 75, n. 39, p. 1-12, 2018.

- RODRIGUES, A. M. S. et al. The wood preservative potential of long-lasting Amazonian wood extracts. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 75, p. 146-149, 2012.
- ROMAGNOLI, M. et al. Wood colour in lapacho (*Tabebuia serratifolia*): chemical composition and industrial implications. **Wood Science and Technology**, v. 47, n. 4, p. 701-716, 2013.
- ROWE, J. W. **Natural products of woody plants I**: chemicals extraneous to the lignocellulosic cell wall. Berlin: Springer, 1989, 1275p.
- ROYER, M. et al. Efficacy of *Bagassa guianensis* Aubl. extract against wood decay and human pathogenic fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 70, p. 55-59, 2012.
- RUDMAN, P. et al. Relationship of tectoquinone to durability in *Tectona grandis*. **Nature**, v. 181, n. 4610, p. 721-722, 1958.
- RUDMAN, P.; DA COSTA, E. W. B.; GAY, H. J. Wood quality in plus trees of teak (*Tectona grandis* L.f.): an assessment of decay and termite resistance. **Sylvae Genetica**, v. 16, p. 102-105, 1967.
- RUDMAN, P.; GAY, F. J. The causes of natural durability in timber. Pt. VI. Measurement of anti-termite properties of anthraquinones from *Tectona grandis* L. f. by a rapid semi-micromethod. **Holzforschung**, v. 15, n. 4, p. 117-120, 1961.
- RUDMAN, P.; GAY, F. J. The causes of natural durability in timber Pt. X. The deterrent properties of some three-ringed carbocyclic and heterocyclic substances to the subterranean termite *Nasutitermes exitiosus* (Hill). **Holzforschung**, v. 17, n. 1, p. 21-25, 1963.
- SABLÍK, P. et al. Impact of extractive chemical compounds from durable wood species on fungal decay after impregnation of nondurable wood species. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 74, n. 2, p. 231-236, 2016.
- SALEM, M. Z. M. et al. Evaluation of usage three natural extracts applied to three commercial wood species against five common molds. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 110, p. 206-226, 2016.
- SANDERMANN, W. DIETRICH, H. H. Investigations on termiteproof wood species. **Holz Als Roh- Und Werkstoff**, v. 15, n. 7, p. 281-297, 1957.
- SANDERMANN, W.; SIMATUPANG, M. H. On the chemistry and biochemistry of teakwood (*Tectona grandis* L. fil.). **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 24, n. 5, p. 190-204, 1966.
- SCHMIDT, O. **Wood and tree fungi**: biology, damage, protection, and use. Berlin: Springer, 2006. 334p.

SCHUBERT, M.; FINK, S.; SCHWARZE, F. W. M. R. Evaluation of *Trichoderma* spp. as a biocontrol agent against wood decay fungi in urban trees. **Biological Control**, v. 45, n. 1, p. 111-123, 2008.

SCHULTZ, T. P.; NICHOLAS, D. D. Naturally durable heartwood: evidence for a proposed dual defensive function of the extractives. **Phytochemistry**, v. 54, n. 1, p. 47-52, 2000.

SHELTON, T. G.; GRACE, J. K. Termite physiology in relation to wood degradation and termite control. In: GOODELL, B.; NICHOLAS, D. D.; SCHULTZ, T. P. (Eds.). **Wood deterioration and preservation: advances in our changing world**. Washington, DC: American Chemical Society, p. 242-252. 2003. (ACS Symposium Series 845).

SIMATUPANG, M. H. Dr.; YAMAMOTO, K. T. C.; HINGHON, C.; MATSUMOTO, K. Properties of teakwood (*Tectona grandis* L.F.) and mahogany (*Swietenia macrophylla* King) from manmade forest and influence on utilization. In: HINGHON, C., MATSUMOTO, K. (Eds.). PROCEEDING OF SEMINAR ON HIGH VALUE TIMBER FOR PLANTATION ESTABLISHMENT. **Proceeding...** Sabah: JIRCAS, p. 103-114, 2000. (Report, 16).

SINGH, T.; SINGH, A. P. A review on natural products as wood protectant. **Wood Science and Technology**, v. 46, n. 5, p. 851-870, 2012.

SOUZA, R. F. et al. Concentrados de metabólitos obtidos das folhas da teca (*Tectona grandis* (L.f.)) para uso como corante. ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DA QUÍMICA DA AMAZÔNIA. **Anais...** Belém: UFPA, 2007.

STIRLING, R.; KUS, S.; UZUNOVIC, A. Inhibition of basidiospore germination by western redcedar heartwood extractives. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 114, p. 145-149, 2016.

SUSI, P. et al. Biological control of wood decay against fungal infection. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 7, p. 1681-1689, 2011.

SYOFUNA, A.; BANANA, A. Y.; NAKABONGE, G. Efficiency of natural wood extractives as wood preservatives against termite attack. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 14, n. 2, p. 155-163, 2012.

TASCIOGLU, C. et al. Termiticidal properties of some wood and bark extracts used as wood preservatives. **BioResources**, v. 7, n. 3, p. 2960-2969, 2012.

TASCIOGLU, C. et al. Antifungal properties of some plant extracts used as wood preservatives. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 23-28, 2013.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. TAPPI test methods. **T-264 cm-97**: Preparation of wood for chemical analysis. Atlanta: TAPPI Press. 1997.

THÉVENON, M. et al. **Possible durability transfer from durable to non durable wood species: the study case of teak wood**. Stockholm: The International Research Group on Wood Protection, 2001.(Doc. IRG/WP 01-10392).

THULASIDAS, P. K.; BHAT, K. M. Chemical extractive compounds determining the brown-rot decay resistance of teak wood. **Holz als Roh - und Werkstoff**, v. 65, n. 2, p. 121-124, 2007.

VIDAL, J. M. et al. Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 257-271, 2015.

WANG, L. et al. Recycling contaminated wood into eco-friendly particleboard using green cement and carbon dioxide curing. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 861-870, 2016.

WEILAND, J.; GUYONNET, R. Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 61, p. 216-220, 2003.

WEN, R. et al. Analysis of volatile constituents in *Tectona grandis* L.F. before and after irradiation by HS-SPME-GC-MS. **Chemistry and Industry of Forest Products**, v. 37, n. 1, p. 135-140, 2017.

WINDEISEN, E.; KLASSEN, A.; WEGENER, G. On the chemical characterisation of plantation teakwood from Panama. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 61, n. 6, p. 416-418, 2003.

WOLCOTT, G. N. The Permanence of termite repellents. **Journal of Economic Entomology**, v. 40, n. 1, p. 124-129, 1947.

XIE, C. P. et al. GC-MS Analysis on heartwood extractive chemical components of different provenances teak (*Tectona grandis* L.f.). **Advanced Materials Research**, v. 236-238, p. 1049-1053, 2011.

YAMAMOTO, K.; SIMATUPANG, M. H.; HASHIM, R. Caoutchouc in teak wood (*Tectona grandis* L. f.): formation, location, influence on sunlight irradiation, hydrophobicity and decay resistance. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 56, n. 3, p. 201-209, 1998.

YEN, T.-B. et al. Antifungal properties of ethanolic extract and its active compounds from *Calocedrus macrolepis* var. *formosana* (Florin) heartwood. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 11, p. 4871-4877, 2008.

ZABEL, R.A.; MORRELL, J.J. **Wood microbiology**: decay and its prevention. San Diego: Academic, 1992. 476p.

ZANONI, M. V. B.; YANAMAKA, H. (Orgs.). **Corantes**: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento. São Paulo: UNESP, 2016. 347p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resumo das análises de variância para os parâmetros colorimétricos e ensaios biológicos analisados em função dos tratamentos e condições testados.

Tabela 1A – Resumo das análises de variância para as coordenadas L*, a* e b*.

Seção	Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios		
			L*	a*	b*
Radial	Extratos	7	0,7284 **	0,1086 **	0,6765 **
	Condições	2	0,0842 **	2,0422 **	0,5880 **
	Interação	14	0,0426 **	0,0289 **	0,1082 **
	Tratamentos	23	0,2550 **	0,2282 **	0,3229 **
	Resíduo	456	0,0004	0,0017	0,0016
Transversal	Extratos	7	0,7980 **	69,44 **	0,9828 **
	Condições	2	0,0642 **	1050,88 **	1,3944 **
	Interação	14	0,0443 **	28,20 **	0,3540 **
	Tratamentos	23	0,2754 **	129,68 **	0,6358 **
	Resíduo	216	0,0012	1,4351	0,0035

** significativo a 1% de probabilidade ($p \leq 0,01$). Dados foram transformados em Log_{10} .

Tabela 2A – Resumo das análises de variância para a variação total dos tratamentos em relação as amostras controle (ΔE^*_1) e sua estabilidade após lixiviação (ΔE^*_2) e intemperismo (ΔE^*_3).

Seção	Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios		
			ΔE^*_1	ΔE^*_2	ΔE^*_3
Radial	Tratamentos	3	0,6050 **	145,47 **	1,5626 **
	Resíduo	76	0,0026	16,61	0,0144
Transversal	Extratos	3	0,1448 **	336,97 **	244,78 **
	Condições	36	0,0035	18,69	16,80

** significativo a 1% de probabilidade ($p \leq 0,01$). Dados foram transformados em Log_{10} .

Tabela 3A – Resumo das análises de variância para resistência a fungos de podridão.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios			
		<i>P. placenta</i>	<i>G. trabeum</i>	<i>N. lepidus</i>	<i>I. lacteus</i>
Extratos	7	0,4404 **	0,0418 **	0,0554 **	0,3571 **
Condições	2	0,0957 **	0,2761 **	0,0475 **	0,0463 **
Interação	14	0,2369 *	0,0149 **	0,0083 **	0,0051 ns
Tratamentos	23	0,1526 **	0,0458 **	0,0260 **	0,1158 **
Resíduo	96	0,0075	0,0047	0,0028	0,0071

** significativo a 1% de probabilidade ($p \leq 0,01$). * significativo a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$); ns – não significativo ($p > 0,05$). Dados transformados em $\text{Arcsen} \sqrt{\text{PM}(\%)/100}$.

Tabela 4A - Resumo das análises de variância para perda de massa e mortalidade em ensaio a térmitas.

Ensaio	Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	
			Perda de Massa	Mortalidade
Alimentação forçada	Extratos	7	0,1908 **	0,5810 **
	Condições	2	0,0981 **	0,6043 **
	Interação	14	0,0080 **	0,1359 **
	Tratamentos	23	0,0715 **	0,3121 **
	Resíduo	96	0,0012	0,0157
Preferência alimentar	Extratos	7	3,4075 **	-----
	Condições	2	3,4038 **	-----
	Interação	14	0,1939 **	-----
	Tratamentos	23	1,4511 **	-----
	Blocos	4	0,3299 **	-----
	Resíduo	92	0,0521	-----

** significativo a 1% de probabilidade ($p \leq 0,01$). Dados transformados em $\text{Arcsen} \sqrt{\bar{X}(\%)/100}$.