



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E
AMBIENTAIS**

JEINNA MICHELLY RODRIGUES DE BARROS

Magister Scientiae

**UTILIZAÇÃO DE EXTRATO TÂNICO COMERCIAL COMO RETARDANTE DE
FOGO EM MADEIRA**

**CUIABÁ, MT
2022**

JEINNA MICHELLY RODRIGUES DE BARROS

UTILIZAÇÃO DE EXTRATO TÂNICO COMERCIAL COMO RETARDANTE DE FOGO
EM MADEIRA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Faculdade de Engenharia Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador (a): Elaine Cristina Lengowski

CUIABÁ, MT
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

B277u Baros, Jeinna Michelly Rodrigues de.
Utilização de extrato tânico comercial como retardante de fogo em madeira /
Jeinna Michelly Rodrigues de Barros. -- 2022
53 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Elaine Cristina Lengowski.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de
Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e
Ambientais, Cuiabá, 2022.
Inclui bibliografia.

1. Incêndio. 2. Compostos Fenólicos. 3. Tanino. 4. Massa Residual. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: UTILIZAÇÃO DE EXTRATO TÂNICO COMERCIAL COMO RETARDANTE DE FOGO EM MADEIRA

AUTORA: MESTRANDA JEINNA MICHELLY RODRIGUES DE BARROS

Dissertação defendida e aprovada em 25 de março de 2022.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. DOUTORA ELAINE CRISTINA LENGOWSKI (Presidente Banca / Orientadora)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

2. DOUTOR RAFAEL RODOLFO DE MELO (Examinador Externo)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

3. DOUTOR AYLSON COSTA OLIVEIRA (Examinador Interno)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Cuiabá, 25/03/2022.



Documento assinado eletronicamente por **ELAINE CRISTINA LENGOWSKI, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 25/03/2022, às 14:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **AYLSON COSTA OLIVEIRA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 25/03/2022, às 14:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **RAFAEL RODOLFO DE MELO, Usuário Externo**, em 27/03/2022, às 16:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4536607** e o código CRC **221DB99A**.

Ao meu pai, Syldo (*in memoriam*)
À minha avó, Maria (*in memoriam*)

Pela saudade e por saber que
estarão compartilhando desse
momento.

DEDICO

AGRADECIMENTO

A Deus pela sanidade e suporte nos momentos difíceis.

À minha família pelo carinho, compreensão e enorme suporte durante a caminhada, o apoio de vocês, em muitos momentos, foi o que permitiu com que eu continuasse caminhando.

Aos amigos, pela companhia e apoio, durante a Graduação e a Pós graduação, e principalmente, pela vida.

À minha orientadora, Profa. Dra. Elaine Cristina Lengowski, pela dedicação, apoio, paciência, companheirismo, ensinamentos e amizade, sendo essencial para a realização desse trabalho. E ao Eraldo e Gustavo, pelas enormes contribuições durante a realização deste trabalho.

Ao prof. Dr. e amigo, Aylson Costa Oliveira (Tito), pelos ensinamentos e amizade durante a minha caminhada na UFMT. Que juntamente com o Prof. Dr. Rafael Rodolfo de Melo, agradeço a participação na banca examinadora, assim como as contribuições.

Às instituições que possibilitaram as análises desse trabalho: o Laboratório de Tecnologia da Madeira (UFMT); Laboratório de Pesquisas em Química de Produtos Naturais e Novas Metodologias Sintéticas em Química Orgânica (LPQPN - UFMT); Laboratório de Eletroanalítica e Materiais (UFMT) e Central de Análises – (UTFPR).

À Madeireira ZANATTA e às Empresas MONTANA QUÍMICA LTDA e TANAC SA, pelo fornecimento dos materiais, que foram essenciais para a pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), à qual agradeço pela concessão da bolsa de estudos. À Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA), pelo aprendizado, apoio e suporte durante o mestrado. E ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais-UFMT (PPGCFA-UFMT), pelo suporte, em especial à Rosiane e ao Aylson.

Aos meus amigos caninos, que sempre me trouxeram alegria.

*Se você quer escolher o prazer do
crescimento, prepare-se para
alguma dor.*

(IRVIN YALOM)

RESUMO

BARROS, Jeinna Michelly Rodrigues de. *M. Sc.* Universidade Federal de Mato Grosso, março de 2022. **Utilização de extrato tânico comercial como retardante de fogo em madeira.** Orientadora: Elaine Cristina Lengowski.

Apesar de ser um material utilizado na construção civil, a madeira ainda carece de confiabilidade para ampliar seu uso, muito em função do desconhecimento das suas propriedades térmicas quando exposta ao fogo. Por ser um material inflamável, o tratamento com retardantes de fogo, torna-se necessário para que se aumente a confiança em relação ao seu emprego. Produtos mais sustentáveis, como o tanino, são uma alternativa à produtos comumente empregados para essa finalidade. Logo, esse trabalho teve por objetivo avaliar a utilização de um extrato tânico como retardante de fogo em madeira. Para as análises, utilizou-se a madeira da espécie *Simarouba amara* Aubl., os tratamentos se deram com um retardante comercial, o extrato tânico e um verniz. Foram determinados os parâmetros colorimétricos como luminosidade, as coordenadas cromáticas do verde-vermelho e amarelo-azul, saturação e ângulo de tonalidade, além da diferença de coloração após o tratamento das amostras. Tanto os materiais, quanto as amostras tratadas e de controle, foram caracterizadas a partir da análise termogravimétrica. Através do teste de queima a curta exposição à chama, foram determinados os tempos de ignição (TI), chama (TC) e de brasa (TB) e a massa residual após a queima, além da análise da camada carbonizada. Todos os materiais utilizados influenciaram nos parâmetros colorimétricos, porém, o extrato tânico foi o material que mais influenciou na coloração e o retardante comercial, na retenção de massa. Os melhores resultados com retardante comercial e extrato tânico, deram-se através do método de aplicação por imersão. Para a coloração, o tratamento mais expressivo, foi o com tanino e verniz (TVP), com a variação total da cor classificada em muito apreciável. O retardante comercial proporcionou a maior retenção de massa, tendo para o tratamento por imersão (OI), valor de (35,64%), e a menor para o tratamento com extrato tânico (TI), com (0,71%). A partir das análises termogravimétricas, notou-se que os produtos utilizados para tratar as amostras, apresentaram comportamentos distintos ao da madeira não tratada, a temperatura do pico de degradação do extrato tânico em 600°C, foi maior do que a observada para a amostra não tratada, que ocorreu em 320 °C. Todos os tratamentos influenciaram na redução da perda de massa, porém sendo mais expressiva nos tratamentos com o retardante comercial. Assim como o retardante comercial, o tratamento das amostras com extrato tânico além de reduzir os tempos de ignição (TI), chama (TC) e de brasa (TB), resultou em um aumento da massa residual após ao teste de queima. Em comparação com a amostra sem tratada, no tratamento com extrato tânico por imersão houve uma redução no tempo de brasa (TB), dez vezes menor do que a observada para o controle (CR), além de aumentar em duas vezes a massa residual. Em todas as amostras tratadas, a camada carbonizada promoveu um isolamento, protegendo o interior da madeira. Conclui-se que o extrato tânico demonstrou ter potencial para seu uso como retardante de fogo em madeira.

Palavras-chave: Incêndio. Compostos Fenólicos. Tanino. Massa Residual

ABSTRACT

BARROS, Jeinna Michelly Rodrigues de. *M. Sc.* Universidade Federal de Mato Grosso, março de 2022. **Use of commercial tannic extract as a fire retardant in wood.** Advisor: Elaine Cristina Lengowski.

Despite being a material used in civil construction, wood still lacks reliability to expand its use, largely due to the lack of knowledge about its thermal properties when exposed to fire. Because it is a flammable material, treatment with fire retardants is necessary to increase confidence in its use. More sustainable products, such as tannin, are an alternative to the products commonly used for this purpose. Therefore, this work aimed to evaluate the use of a tannic extract as a fire retardant in wood. For the analysis, the wood of *Simarouba amara* Aubl. species was used, and the treatments were given with a commercial retardant, the tannic extract, and a varnish. The colorimetric parameters were determined, such as luminosity, the chromatic coordinates of green-red and yellow-blue, saturation and tone angle, and the difference in coloration after the treatment of the samples. Both materials, treated and control samples were characterized using thermogravimetric analysis. Through the short exposure burning test, the ignition (IT), flame (FT) and ember (ET) times and the residual mass after burning were determined, in addition to the analysis of the carbonized layer. All the materials used influenced the colorimetric parameters, however, the tannic extract was the material that most influenced the coloration and the commercial retardant, the mass retention. The best results with commercial retardant and tannic extract were obtained by the immersion method. For coloration, the most expressive treatment was the one with tannin and varnish (TVP), with the total color variation classified as very appreciable. The commercial retardant provided the highest mass retention, having for the immersion treatment (OI), a value of (35.64%), and the lowest for the treatment with tannic extract (TI), with (0.71%). The temperature of the degradation peak of the tannic extract at 600 °C was higher than that observed for the untreated sample, which occurred at 320 °C. All treatments influenced the reduction of mass loss, although it was more significant in the treatments with the commercial retardant. As with the commercial retardant, the treatment of the samples with tannic extract, in addition to reducing the ignition (IT), flame (FT), and ember (ET) times, resulted in an increase in residual mass after the burning test. In comparison with the untreated sample, the treatment with tannic extract by immersion resulted in a reduction in the ember time (ET), ten times less than that observed for the control (CR), in addition to increasing the residual mass by two times. In all treated samples, the carbonized layer promoted an isolation, protecting the interior of the wood. We conclude that the tannic extract has shown potential for use as a fire retardant in wood.

Keywords: Fire. Phenolic Compounds. Tannin. Residual Mass

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	10
SUMÁRIO	11
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo geral	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1. Uso da madeira na construção civil	15
3.2. Comportamento térmico da madeira.....	17
3.3. Retardantes de chamas.....	19
3.4. Taninos	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1. Materiais utilizados.....	25
4.2. Caracterização da madeira	25
4.3. Solubilidade e precipitação do extrato tanífero e Preparo e aplicação dos produtos.....	26
4.4. Caracterização colorimétrica	28
4.5. Análise termogravimétrica (TG) e Derivada da Curva Termogravimétrica (DTG).....	29
4.6. Teste de queima a curta exposição à chama	30
4.7. Análise estatística	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. Solubilidade	33
5.2. Retenção de massa	34
5.3. Análise Colorimétrica	36
5.4. Análise Termogravimétrica	39
5.5. Queima de curta exposição à chama.....	44
6. CONCLUSÕES.....	49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

A madeira é uma matéria-prima que permite uma grande variedade de usos, porém, sua aplicação está relacionada com suas propriedades. Por exemplo, no setor da construção civil, o uso da madeira se dá em sua maioria, por peças serradas, como parte da estrutura, através de vigas, caibros, tábuas, portas, janelas. Sendo também aplicada para no interior das construções, com os laminados e painéis de compósitos de madeira, para a vedação e revestimento. Porém, apesar do seu amplo uso na construção civil, a madeira por ser inflamável, ainda carece de confiabilidade do mercado consumidor em relação à segurança em situações de incêndio.

Dependendo de como a madeira será aplicada, tem-se a necessidade de tratá-la com produtos, que possam influenciar de forma positiva nas propriedades térmicas, dificultando a combustão na presença do fogo, fazendo com que o seu emprego se dê de forma mais confiável (WILKIE e MORGAN, 2012; MARTINS, 2016).

Quando exposta ao fogo, a segurança de uma estrutura é influenciada pela forma que o incêndio se desenvolve (PINTO, 2001). Por exemplo, a extinção da chama nas fases iniciais, assim como o seu retardamento, possibilita uma saída adequada dos ocupantes, além de diminuir os danos permanentes da estrutura exposta ao fogo (PINTO, 2001; SILVEIRA *et al.*, 2019).

Sabendo que a resistência ao fogo de madeiras usadas em construções, pode ser definida como o tempo em que determinado sistema construtivo mantém em condições de fogo normalizado as exigências regulamentadas, é importante que se opte por madeiras mais resistentes ao fogo, além tratá-las com produtos que melhorem a resistência da madeira quando exposta ao fogo, aumentando assim a segurança em relação ao seu uso.

Esses produtos, encontrados na forma de retardantes de chamas, tintas ignífugas ou como agentes intumescentes, podem agir em diferentes fases da queima da madeira, além de serem encontrados em uma variedade de materiais utilizados em suas composições. Sendo os principais, os fosforados e os boratos (ROWELL, 2013), que promovem a extinção ou retardamento do fogo, através da formação de uma barreira física, que provocam modificações físicas e químicas durante a combustão (LEVAN, 1984). Apesar da efetiva segurança promovida, o custo pode ser um fator limitante ao uso desses materiais.

Visando a redução de custos e opção por produtos mais sustentáveis, os taninos tornam-se uma alternativa, visto que são compostos polifenóis. São amplamente utilizados para o curtimento de couro (HASLAM, 1996; PIZZI, 2000), porém, devido à sua composição e características química, tem sido na produção de resinas, tratamentos contra agentes

degradadores, em uso medicinal, como um agente flocculante para o tratamento de efluentes (DAS *et al.*, 2020).

Segundo diversos autores, o tanino tem sido estudado para aumentar a resistência de materiais ao fogo. Sendo empregado como fonte de carbono para revestimentos intumescentes (SILVEIRA *et al.*, 2019); como uma alternativa ao uso do formaldeído, que é usado para aumentar a resistência ao fogo de espumas (BASSO *et al.*, 2013); empregado como um retardante de chamas para materiais ricos em celulose (NAM *et al.*, 2017); além da possibilidade de ser usado com outros materiais, como o boro, para a retardância da chama (PIZZI *et al.*, 2012).

O tanino se apresenta como uma fonte sustentável de material para a produção de retardantes de fogo de madeira.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a utilização de um extrato tânico comercial para a produção de um retardante de fogo para a madeira de *Simarouba amara* Aubl., em diferentes métodos de aplicação, comparando-o com outros produtos usados para a proteção da madeira.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar a influência dos diferentes produtos e métodos de aplicação na coloração da madeira e retenção em massa;
- Determinar a variação de massa em função da temperatura da madeira sem tratamento, assim como das amostras tratadas por meio de Análise Termogravimétrica (TGA) e Termogravimetria Derivada (DTG);
- Avaliar os tempos de queima, perda de massa e área carbonizada por meio do teste de queima a curta exposição a chama.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Uso da madeira na construção civil

A madeira é um biopolímero majoritariamente composto por celulose, hemiceluloses (polioses) e ligninas, que são responsáveis pela composição das paredes celulares (ROWELL *et al.*, 1984). Em menor expressão, tem-se os compostos acidentais, também chamados de substâncias orgânicas (extrativos) e inorgânicas (minerais), que normalmente se encontram nos espaços vazios das células (SILVA, 2012). A madeira tem a característica de ser um material heterogêneo e complexo, pois na sua composição são encontrados diferentes tipos e quantidades de células e substâncias químicas, que juntas atuam para atender as diversas necessidades das plantas (BURGUER e RICHTER, 1991; ROWELL, 2013).

As propriedades da madeira podem variar devido à diversos fatores inerentes ou não ao material. Nos fatores inerentes (internos), têm-se a influência do material genético do indivíduo; a idade cronológica e fisiológica; a localização do material em relação a posição no indivíduo (árvore), seja em seu eixo vertical (no sentido base-copa) ou em seu eixo horizontal (sentido medula-casca). E os não inerentes (externos), são aqueles em que a influência é gerada pelo ambiente em que o indivíduo se encontra, seja devido às condições climáticas, a qualidade do sítio, ou assim como dos tratos silviculturais (FOEKEL *et al.*, 1975; BENDTSEN, 1978; KLOCK e MUÑIZ, 1998)

Por ser um material com diferentes características, o conhecimento das propriedades da madeira promove um correto aproveitamento desse material e, conseqüentemente, melhora a qualidade do produto final (KLOCK, 2000; GOMES *et al.*, 2007). Logo, o melhor uso da madeira se deve à escolha de como esse material será empregado.

Tem-se como exemplo, o setor da construção civil, que devido a suas necessidades de mercado, tornou-se um dos principais consumidores de madeira serrada, utilizando este tipo de produto de madeira desde a construção pesada à leve, de uso temporário ou definitivo (ABIMCI, 2019). A aplicação da madeira como parte da estrutura, tornou-se um dos pontos mais requeridos pelo mercado consumidor, por apresentar a capacidade de ser usada como peças que suportam cargas e esforços.

Na construção civil, o uso de madeira ocorre em diferentes elementos estruturais, em revestimentos e na produção de caixarias durante a construção (PFEIL e PFEIL, 2003). Geralmente as peças de madeiras serradas são oriundas de espécies tropicais nativas e de algumas espécies exóticas de plantios florestais, como *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp., e a escolha da matéria-prima está estritamente relacionada à que grupo de qualidade e valor que uma

determinada espécie ou material pertence (ZENID, 2009).

Em relação à fonte de matéria-prima, no Brasil, grande parte da cobertura florestal (497.962.509 ha) é composta por florestas nativas, correspondendo por cerca de 98,00% e o restante, por florestas plantadas (SNIF, 2019). Nos plantios florestais, as maiores áreas estão destinadas ao plantio do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*, entretanto, também são encontrados plantios de Seringueira, Paricá, Teca, Acácia (ABIMCI, 2019).

Mesmo com um expressivo uso de madeira serrada na construção civil, o avanço tecnológico vem permitindo a criação de novos produtos e de novas aplicações com madeira. Tem-se como exemplo, o uso de peças estruturais de MLC (Madeira Laminada Colada), painéis de compósitos de madeira usados no revestimento e isolamento de edificações, além de usos que não estão relacionados ao edifício, como itens decorativos usados no interior, móveis de madeira (sólida ou recomposta) (PFEIL e PFEIL, 2003; WHITE e DIETENBERGER, 2010).

Mesmo sendo usada há muito tempo na construção civil, a madeira é um material que ainda carece de confiabilidade do mercado consumidor em relação à segurança em situações de incêndio. Esse cenário ocorre pela característica de inflamabilidade e pelo desconhecimento das suas propriedades quando exposta ao fogo (FIGUEROA e MORAES, 2009; MARTINS, 2016).

Em relação à segurança de estruturas contra incêndios, pode-se pensar nos aspectos que envolvam a prevenção, detecção, evacuação, contenção e extinção (WHITE e DIETENBERGE, 2010). Quando exposta ao fogo, a segurança de uma estrutura é influenciada pela forma que o incêndio se desenvolve (PINTO, 2001). Por exemplo, a extinção da chama nas fases iniciais e ou um retardamento do processo de combustão da madeira, possibilitam uma saída adequada dos ocupantes, além de diminuir os danos permanentes à estrutura exposta ao fogo (PINTO, 2001).

Os materiais utilizados na construção de um edifício exercem influência na classificação de aspectos atinentes à segurança, quando estes se encontram em uma situação de incêndio. Como pode ser visto na Norma Europeia EN13501 (Classificação ao fogo de produtos de construção e elementos de construção), que em sua primeira parte, traz uma classificação usando dados de testes de reação ao fogo. Em resumo, essa norma classifica os materiais usados em uma construção quanto à sua contribuição ou não com o incêndio. Os edifícios das classes (A1 e A2), são aqueles em que os materiais utilizados não contribuem ou pouco contribuem em alguma fase do incêndio. Porém edifícios das classes (B, C, D, E e F) exercem alguma contribuição com os incêndios, sendo os da classe (B) os que menos e os da classe (F), os que mais contribuem.

WHITE e DIETENBERGE (2010) trazem uma classificação de edifícios quanto aos incêndios, que leva em consideração o tipo de material empregado e da segurança requerida para esse edifício. Por exemplo, edifícios do tipo I e II, não abarca no processo construtivo materiais combustíveis, porém nos tipos III, IV, V, permitem o uso de materiais combustíveis, mas respeitando as limitações de cada classificação. Tratamentos empregados para a melhoria das propriedades relativas à combustibilidade da madeira, como retardantes de chamas, permitem que materiais combustíveis como a madeira, possam ser usados. Por exemplo, em edifícios do tipo III, a madeira pode ser empregada como paredes, desde que tratadas com agentes ignífugos.

Tendo que a resistência ao fogo de madeiras usadas em processos construtivos, pode ser definida como o tempo em que determinado sistema construtivo mantém em condições de fogo normalizado as exigências regulamentadas, tem-se que a compreensão do comportamento térmico da madeira possibilita a melhora das suas propriedades em situação de incêndio, aumentando assim a segurança da estrutura e dos ocupantes.

3.2. Comportamento térmico da madeira

Tendo a inflamabilidade como um dos aspectos indesejáveis da madeira, faz-se necessário o conhecimento do seu comportamento térmico. O desempenho da madeira exposta ao fogo pode ser avaliado sob várias situações, sendo em função da sua degradação térmica, da sua ignição a partir de fontes de calor, da liberação de calor e fumaça, da propagação de chamas, assim como das taxas de carbonização (WHITE e DIETENBERGE, 2010).

Ao ser exposta ao fogo, a madeira sofre alterações devido aos processos de despolimerização e de carbonização, que influenciam nas propriedades da madeira, principalmente sobre a resistência mecânica da estrutura de madeira e carbonização de sua superfície (PINTO e CALIL, 2006). Os efeitos de um incêndio na estrutura de madeira são regidos pela temperatura e pelo tempo de exposição ao calor, e dependendo do grau de degradação da madeira, eles podem ser de caráter temporário ou permanente (FIGUEROA e MORAES, 2009; LEAL, 2010). A degradação térmica da madeira pode ocorrer através da pirólise lenta e rápida, da combustão flamejante e incandescente, podendo chegar ao estado de carbonização (AGUILLAR, 1986; PINTO, 2001).

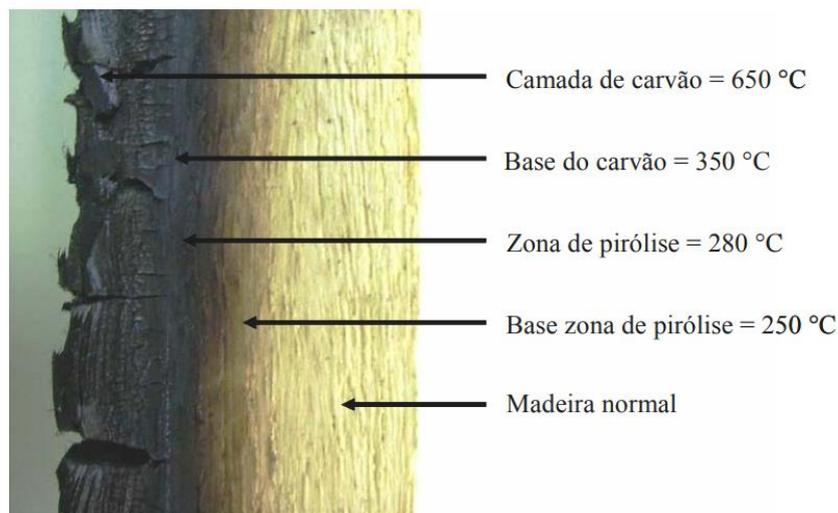
Figueroa e Moraes (2009) trazem as fases da degradação da madeira com suas respectivas faixas de temperatura, assim como os fenômenos ocorridos durante essas fases. A primeira fase (pirólise lenta) ocorre até os 200 °C, com a liberação de gases e de água em forma

de vapor, porém sem ignição da madeira, com algumas reações exotérmicas de oxidação, há alteração de cor da madeira; a segunda fase (pirólise rápida) se dá entre 200 e 280 °C, aumentam-se as reações químicas e a liberação de gases, de fato começam as reações exotérmicas, mas ainda sem o surgimento de chamas, considera-se essa temperatura como sendo a de ignição. O desenvolvimento do incêndio influencia diretamente na segurança de uma estrutura, por exemplo, em uma situação em que há um prolongamento do tempo de ignição até o tempo final do processo de queima, está-se possibilitando que se tenha um maior tempo de evacuação dos ocupantes, assim como irá diminuir os danos à estrutura (PINTO, 2001).

Continuando o processo de degradação, na faixa de temperatura de 280 a 380 °C se dá a terceira fase (fase exotérmica), no fim dela há um material residual, um carvão com gases volatizáveis; com o aumento da temperatura, tem-se a quarta fase (fase exotérmica), na faixa de 380 a 500 °C, em que há uma redução da emissão dos gases, passando a produzir alcatrão e gases condensáveis, restando em torno de 30% da massa original e por fim, na quinta fase (fase exotérmica), que ocorre acima de 500 °C, a carbonização é encerrada e se inicia a gaseificação do carvão, porém, abaixo da camada de carvão, as partes não carbonizadas mais próximas ao carvão ficam sob a influência das temperaturas da primeira, segunda e terceira fase (FIGUEIROA e MORAES, 2009).

As diferentes fases da degradação podem ser vistas simultaneamente em uma mesma peça de madeira (Figura 1), é possível fazer a diferenciação da camada carbonizada com as partes que se encontram sob a influência da pirólise e da madeira não degradada.

Figura 1. Influência das diferentes fases de degradação térmica em uma madeira



Fonte: Figueiroa e Moraes (2009)

Durante o processo de carbonização, a camada carbonizada tende a conter os gases inflamáveis (AGUILLAR, 1986; PINTO, 2001). A camada de carvão formado durante a combustão protege a camada não carbonizada, e por consequente, a peça, pois atua como um isolante térmico, desacelerando o processo de combustão, protegendo o centro da peça, fazendo com que ainda consiga desempenhar sua função estrutural (MARTINS, 2016). A carbonização exerce grande influência na determinação da resistência de uma peça exposta ao fogo (MARTINS, 2016).

A taxa de carbonização pode ser um parâmetro a ser usado para inferir sobre a resistência da madeira, visto que é uma propriedade definida pela taxa em que a madeira se transforma em carvão. A taxa de carbonização é influenciada pelas características da madeira, como densidade, estrutura anatômica, composição química, assim como pelos aspectos relativos ao incêndio. Como se sabe, a madeira apresenta diferentes características em função da fase observada, que também irão influenciar na formação de carvão. Por exemplo, durante o processo de carbonização de uma peça, forma-se mais carvão no sentido longitudinal do que no transversal (FIGUEROA e MORAES, 2009; WHITE e DIETENBERGE, 2010; ROCHA, 2014). A taxa de formação de carvão é de grande importância, visto que além do carvão ser um isolante térmico, a completa conversão da madeira em carvão, irá acarretar na perda de resistência da peça, logo é importante saber como se dará a carbonização em função do tempo e da temperatura (PINTO e CALIL JÚNIOR, 2006).

Pensando em aumentar a viabilidade no uso da madeira na construção civil, através da redução de suas características não desejáveis, como a de ser inflamável, o uso de tratamentos se torna um importante meio para que se aumente a confiabilidade do mercado consumidor com a madeira.

3.3. Retardantes de chamas

Há produtos que são usados para o tratamento de madeiras, com o objetivo de melhorá-las quando expostas ao fogo. Os retardantes possuem relação direta com as faixas de temperatura da combustão. Podem atuar desde as fases iniciais, tentando proteger a madeira da fonte de calor, ou em uma situação em que a combustão não tenha se finalizado nas fases iniciais, agem na combustão em que já há a presença de chama (flamejante) ou de brasa (incandescente) (PINTO, 2001).

De forma geral, os produtos utilizados para o tratamento da madeira variam de acordo com a característica a ser melhorada na madeira. Os retardantes de chamas ou produtos

ignífugos podem atuar na redução da taxa de queima, na velocidade de propagação do fogo, no retardamento do início do processo de combustão, assim como também possuem a capacidade de fazer com que um material exposto ao fogo se torne autoextinguível, ou seja, com a capacidade de por si próprio extinguir o fogo (WILKIE e MORGAN, 2012; PAULA *et al.*, 2014).

Para as madeiras utilizadas na construção civil, o conhecimento da interação entre o retardante de chama e madeira se faz essencial, sendo ela um material inflamável, a velocidade de propagação da chama se torna um dos fatores de maior risco para a segurança dos ocupantes, pois quando a propagação se dá de forma mais lenta, há um aumento no tempo disponível para o combate do incêndio, assim como no tempo para a desocupação (RIBEIRO *et al.*, 2003). Pinto (2001) relata que o tratamento de peças estruturais para situações de incêndio possui relação com as temperaturas da combustão, pois em temperaturas mais baixas, a ação se dá pelo isolamento do material ou da fonte de calor, e em maiores temperaturas, através do uso de produtos específicos que irão atuar na combustão.

Os materiais utilizados na constituição dos retardantes de chama influenciam na sua ação ao entrar em contato com o fogo. Produtos à base de Hidróxido de Alumínio, Magnésio e demais compostos como Boro, possuem ação física, tendo como finalidade, absorver o calor do ambiente ou peça exposta ao fogo, dificultar a formação de gases inflamáveis, atrapalhar o desenvolvimento da combustão (PAULA *et al.*, 2014). Porém, os retardantes compostos de produtos Halogenados (Bromo e Cloro) e Não Halogenados (Fosforados) são os ditos de ação química. Estes agem nos radicais livres, gerando substâncias menos combustíveis, dificultando a combustão, porém diferentemente dos retardantes de ação física, não absorvem o calor do ambiente, tendo assim a formação de substâncias tóxicas, que é um dos principais motivos para a substituição de constituintes que possam gerar substâncias nocivas às pessoas (ROWELL, 2013; PAULA *et al.*, 2014).

A constituição de retardantes de fogo influencia no método de aplicação a ser utilizado. Pinto (2001) traz que no método de impregnação por pressão, por exemplo, são usados sais que promovem um aumento da produção de carvão, sendo os mais comuns (Boráx, Ácido Bórico, Fosfato de Amônia), já em aplicações mais superficiais, os produtos agem para o retardamento do desenvolvimento da combustão, diminuindo a capacidade de propagar a chama, e estes têm como vantagem a aplicação após a construção.

Levan (1984) traz um aprofundamento acerca da ação dos retardantes de chama, enquadrando-os em função da teoria do mecanismo de ação. Na teoria de barreira, estão os que irão atuar para a formação de uma barreira física, promovendo um aumento da carbonização e

declínio de combustíveis voláteis; na teoria térmica, tem-se os materiais que irão provocar modificações químicas e físicas, os produtos químicos absorverão o calor que estaria disponível para a pirólise; outra teoria é a da diluição de gases, onde agentes intumescentes da barreira física (na presença de fogo se expandem e formam uma camada de carvão) ou agentes que liberam vapor d'água, fazendo com que se necessite de mais gases combustíveis para o início da combustão; demais teorias também foram apresentadas, como as com a função de captar radicais livres; e as que agem para o aumento de carvão residual, que conseqüentemente, irá diminuir os materiais combustíveis disponíveis.

Apesar da eficiência dos principais constituintes (compostos) dos produtos usados para tratar a madeira em função da inflamabilidade, apresentam como uma desvantagem, o elevado custo para o tratamento da madeira (PINTO, 2001).

CHEN *et al.*, (2020) trabalhando com bio espumas, trazem que as substâncias naturais como lignina, tanino, resíduos agrícolas e da silvicultura podem ser usadas para suprir a demanda da busca por materiais mais acessíveis, seguros e atóxicos. Em produtos retardantes do tipo intumescente, sendo estes constituídos de três componentes (fonte de ácido inorgânico; agente de expansão; fonte de carbono), o tanino pode ser considerado como uma fonte renovável de carbono. Sendo eficaz para os produtos retardantes desse tipo, em função da sua quantidade de carbonos aromáticos (SILVEIRA *et al.*, 2019).

3.4. Taninos

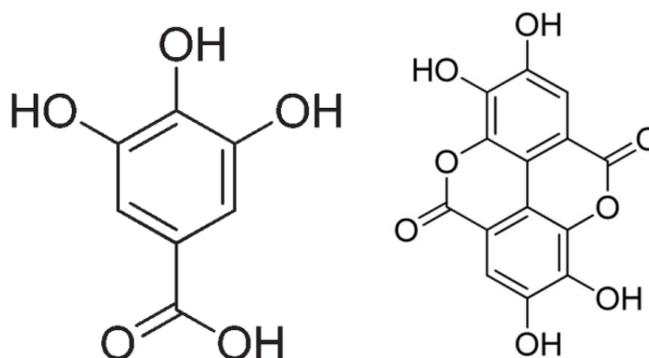
Nas plantas os taninos se encontram dentro dos vacúolos de suas células especializadas. O tanino é um tipo de polifenol, que nas plantas pode atuar como um agente de proteção (amargor para predadores), regulador de crescimento e proteção contra radiação ultra violeta, também fornecem proteção contra o fogo, complexa-se com macromoléculas, promovendo a redução de radicais e oxidativos (CRANG, LYONS-SOBASKI; WISE, 2018). Podem se ligar à celulose, proteínas, amidos e até minerais, criando substâncias que resistam à degradação. (TRIBUTSCH; FLETCHER, 2008).

As principais matérias-primas de taninos são oriundas da casca da espécie Acácia Negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), madeira de Quebracho (*Schinopsis balansae* e *Schinopsis lorentzii*) e do Angico Vermelho (*Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (Griseb.) Altschul) (PIZZI, 2008). No Brasil, a Acácia (*Acacia mearnsii*) possui uma área plantada acima de 150.000 (ha). Destinadas à produção de cavacos para a exportação e à obtenção de taninos, para serem usados na indústria de curtume (ABIMCI, 2019).

De acordo com sua natureza e estrutura química, os taninos podem ser classificados em hidrolisáveis e condensados (ARBENZ e AVÉROUZ, 2015). Também podem ser diferenciados em função da sua solubilidade em água; pelo seu peso molecular; pela sua estrutura (caráter fenólico); através da sua complementação intermolecular (por meio de precipitações; complexações) (HASLAM, 1996).

Os hidrolisáveis são divididos em galotaninos e elagitaninos (ARBOUZ e ALVAREZ, 2015, BHATLA e LAL, 2018; WASTOWSKI, 2018). Os taninos hidrolisáveis são constituídos por uma mistura de fenóis (ácidos), glucose e outras substâncias. São gerados ácidos após o processo de hidrólise, para os galotaninos se deriva o ácido gálico, e nos elagitaninos, o ácido elágico (Figura 2). Os hidrolisáveis são usados principalmente no curtimento de couro. Os taninos desse tipo de material possuem um elevado custo, tornando-se menos atraente economicamente do que os de outros tipos de taninos (ARBENZ e AVÉROUS, 2015). São encontrados principalmente em Angiospermas Dicotiledôneas (*Rhus* sp., *Caesalpinia* sp., *Acacia* sp., *Quercus* sp., *Castanea* sp.) (WASTOWSKI, 2018).

Figura 2. Taninos hidrolisáveis. (A) Representação do ácido gálico; (B) representação do ácido elágico



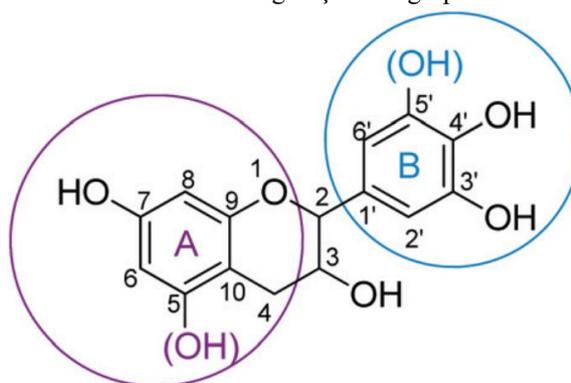
Fonte: ARBENZ e AVÉROUS (2015)

Os taninos hidrolisáveis são usados principalmente na indústria de curtume, onde o tanino se liga com as cadeias de colágeno da pele, porém, também são usados na indústria farmacêutica, como antimutagênicos, anticancerígenos e também com a função antioxidante. Sendo também usados para a produção de tintas e resinas, assim como um agente precipitante para o tratamento de efluentes, porém apresentam um elevado custo (ARBOUZ; ALVAREZ, 2015; DAS *et al.*, 2020)

Os taninos condensáveis são formados a partir da polimerização de unidades de flavonoides, com um esqueleto de carbono (C6-C3-C6), com fortes ligações do tipo Carbono-Carbono (BHATLA e LAL, 2018). Onde de 3 a 8 repetições de flavonoides irão compor um

tanino condensado complexo, cada flavonoide é formado por dois anéis fenólicos de diferentes reatividades, com duas possibilidades de configuração em função da hidroxila (OH) (Figura 3) (ARBENZ e AVÉROUS, 2015). Esses taninos são mais difíceis de serem lixiviados do que os taninos do tipo hidrolisável, tem como uma das principais características, a capacidade de precipitar proteínas, a maioria dos taninos comercializados são os taninos condensáveis (POLTER, 1992; ARBENZ e AVÉROUS, 2015; BHATLA e LAL, 2018).

Figura 3. Estrutura de monoflavonóide com as duas configurações do grupo Hidrolixa (OH) (5 e 5')



Fonte: ARBENZ e AVÉROUS (2015)

O tanino é uma substância estabelecida na indústria de curtimento de couro (HASLAM, 1996; PIZZI, 2008). Porém tem sido usado para outras finalidades, por exemplo, na produção de adesivos e resinas, como produtos capazes de melhorar as propriedades da madeira contra biodegradações, em aditivos para vinhos e cervejas, em agentes floculantes, plastificantes de cimento, na indústria farmacêutica e medicinal (PIZZI, 2008; DAS *et al.*, 2020).

Além desses usos, diversos estudos abordam o uso dos taninos incorporados a outros materiais, com a finalidade de modificar suas características, entre elas a resistência ao fogo.

Silveira *et al.*, (2019) testaram o uso do tanino em diferentes concentrações como fonte de carbono, a ser usado para a produção de revestimentos intumescentes para peças de aço expostas ao fogo. A incorporação de tanino promoveu uma diminuição de 300 °C em relação à chapa sem tratamento, demonstrando eficiência para a melhoria do isolamento dessa peça. Nam *et al.*, (2019) também avaliaram o uso de tanino em retardantes intumescentes, porém aplicados a outro tipo de material, que foi o algodão (fonte rica em celulose). Os autores observaram resultados positivos sobre o uso de tanino, pois houve uma redução da taxa de perda de massa, da taxa de liberação de calor e um aumento do rendimento de carbono, a adição de baixas condições de NaOH promoveram resultados positivos no Índice de Oxigênio Limitador (LOI) a partir da adição de taninos.

Outro uso de tanino com o objetivo de melhorar as propriedades de materiais contra o fogo, tem sido através da produção de espumas, que comumente são feitas de materiais muito inflamáveis. Basso *et al.*, (2013) testando diferentes formulações com produtos mais sustentáveis, utilizou o tanino na produção de espumas rígidas, e constaram que a substituição do formaldeído e de agentes de sopro por espumas mais ambientalmente amigáveis com o meio ambiente, não prejudicaram as propriedades inerentes ao isolamento térmico, resistência mecânica, sendo estas igualmente não inflamáveis. Tondi e Pizzi (2008) em seu trabalho trouxeram diferentes arranjos de composições e seus efeitos na produção de espumas a base de tanino.

O tanino vem sendo usado juntamente com outros produtos com a finalidade de se aumentar a resistência ao fogo. Tondi *et al.*, (2012) testaram preservativos de madeira a base de tanino e Boro, e verificaram que a adição dos compostos polifenóis proporcionaram um efeito positivo na retardância da chama. Então se tem que o tanino é uma substância com potencial para a indústria de química verde. Suas diversas aplicações e a sua origem biológica, tornam o tanino uma alternativa na adoção de produtos mais ambientalmente saudáveis (SHIRMOHAMMADLI *et al.*, 2018), com grande potencial para a indústria química verde.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Materiais utilizados

Neste trabalho foi utilizada a madeira da espécie *Simarouba amara* Aubl., conhecida como caixeta, marupá, amarelinho, marupá-preto. A madeira foi proveniente de uma serraria localizada no município de Colniza-MT, onde foram selecionadas de forma aleatória, tábuas da madeira. A escolha dessa espécie se deu em função de sua baixa densidade e porosidade, para facilitar a aplicação dos produtos.

As tábuas foram beneficiadas para a obtenção dos corpos de provas, seguindo as dimensões nos sentidos radial, tangencial e longitudinal respectivamente de 1,5 x 2,5 x 5,0 (cm), todas as amostras de madeira usadas na pesquisa seguiram o mesmo dimensionamento. Para a aplicação dos produtos e realização das análises e testes, foram selecionadas apenas as amostras de madeira livre de defeitos, procedendo com identificação das amostras.

No tratamento das amostras foram utilizados dois produtos comerciais indicados para a preservação da madeira, sendo um retardante de chama e um verniz, além soluções a base de tanino, preparados com o extrato tânico, as especificações do retardante comercial, verniz e extrato tanífero estão apresentadas na (Tabela 1).

Tabela 1. Especificação dos produtos utilizados

Produto	Fabricante	Descrição	Aplicações
TANFLOC SG 1500	TANAC SA	Polímero orgânico-catiônico de baixo peso molecular, origem vegetal, age como coagulante e floculante, atua em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre estas partículas.	De forma direta ou em solução diluída e combinados com outros agentes.
Osmoguard FR100	Montana Química LTDA	Retardante de chamas, age contra a propagação do fogo e de fumaça, estimulando a carbonização. Possui em sua composição química, compostos fosforado e nitrogenados, boratos, conservante, tensoativo, veículo e água.	Pincelamento (rolo e pistola); Banho de imersão a frio e Tratamento duplo vácuo e vácuo pressão.
Nobile Lasur Incolor	Montana Química LTDA	Utilizado para acabamento de superfície, tem como composição básica, resina acrílica, água, aditivos e glicóis	Pincelamento

4.2. Caracterização da madeira

Foram utilizadas seis amostras de madeira para a caracterização das propriedades físicas. A densidade básica da madeira foi de 0,3518 (g.cm³), sendo esta propriedade determinada através do método gravimétrico, conforme as especificações da Norma NBR 11941/2003 (ABNT, 2003). Apresentou uma densidade aparente de 0,4212 (g.cm³) e teor de

umidade de 15,96%, as duas propriedades foram determinadas com base na NBR 7190/1997 (ABNT, 1997). A porosidade média da madeira foi obtida a partir da metodologia apresentada por Tondi *et al.*, (2012), obtendo-se uma porosidade média de 76,65%. Para a determinação das propriedades, as amostras se encontravam em ambiente controlado com temperatura de 22 °C e 62% de umidade. As equações utilizadas estão apresentadas na (Tabela 2).

Tabela 2. Equações para a determinação das propriedades físicas da madeira

Densidade Básica	Densidade Aparente	Porosidade	Teor de Umidade
$DEB = ms/vsat$	$DEA = mi/v$	$C = 1 - \left(\frac{DEB}{Dcw}\right)$	$U = \left[\frac{(mi - ms)}{ms}\right] * 100$

Em que: ms: Massa Seca (kg); mi: Massa Inicial (kg); vsat: Volume Saturado (m³); v: Volume (m³); U: Umidade porcentual (%); Dcw: Massa Específica Real ou da Parede Celular (1,5 g.cm³)

4.3. Solubilidade e precipitação do extrato tanífero e Preparo e aplicação dos produtos

A solubilidade do extrato tânico foi determinada utilizando seis tipos de solventes: Álcool, Etanol:Tolueno (2:1), Acetona, Hidróxido de Sódio a 1% (NaOH), Água Fria e Água Quente, em triplicada para cada tipo de solvente. A solubilidade foi realizada em consonância com as recomendações das Normas TAPPI (2007), levando-se em consideração a umidade inicial do extrato tânico (22,36%), que foi obtida através do método gravimétrico.

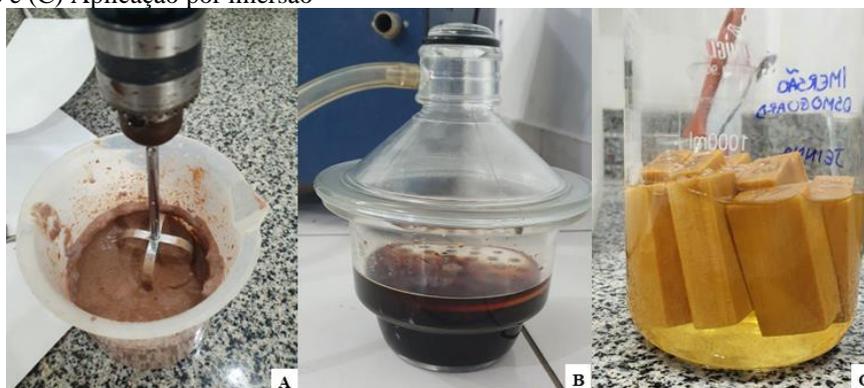
Determinou-se a precipitação do extrato tânico através de sua máxima diluição, utilizou-se 100 ml de água destilada em temperatura ambiente para a diluição do extrato tânico, sendo adicionado aos poucos ao solvente, passando por um processo de agitação e repouso, até que fosse observada a precipitação do extrato tânico, ponto em que seria obtida a máxima quantidade de massa de extrato tânico que seria completamente solubilizada em 100 ml de água, a análise foi feita em triplicata. Sendo assim, foi determinada uma concentração de 50 g. l, sendo esta concentração utilizada para a produção dos produtos à base de tanino.

O extrato tânico foi usado para a preparo de dois produtos, que seriam usados no tratamento das amostras. No primeiro produto, o extrato tânico foi diluído em água destilada, em uma concentração de 50, 00 g. l. E no segundo produto, foram homogeneizados 5,00 g de extrato tânico em 100 ml de verniz e 30 ml de água destilada.

A respeito das aplicações, a solução preparada com extrato tânico e com água destilada, assim como o retardante de chamas comercial foram aplicados nas amostras por três métodos de aplicação, pincelamento, a vácuo e por imersão (Figura 4). A solução de extrato tânico mais verniz e o verniz foram aplicados apenas por pincelamento, visto que foram seguidas as

instruções estabelecidas pelo fabricante do verniz.

Figura 4. Preparo e aplicação dos produtos. (A) Preparo do produto de extrato tânico e verniz; (B) Aplicação por pressão à vácuo e (C) Aplicação por imersão



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

O pincelamento foi realizado com três demãos de aplicação de produtos em um intervalo de 3 horas entre as demãos. Já a aplicação a vácuo foi feita utilizando a pressão de uma bomba a vácuo, durante um período de 2 horas, adotando uma pressão de 42,33 (KPa). E na aplicação por imersão, as amostras ficaram imersas nos produtos por um período de 48 horas.

Os tratamentos se deram através dos diferentes produtos e métodos de aplicação dos produtos na madeira, juntamente com o controle (madeira sem aplicação de produto), sendo utilizadas 10 amostras para cada tratamento e controle (Tabela 3).

Tabela 3. Tratamentos realizados na madeira de *S amara*, siglas, materiais e métodos de aplicação

Tratamentos	Siglas	Materiais	Métodos de Aplicação
Tanino Imersão	TI	Extrato tânico	Imersão por 48 horas
Tanino Vácuo	TV	Extrato tânico	Vácuo por 2 horas
Tanino Pincelamento	TP	Extrato tânico	Pincelamento 3 demãos
Osmoguard Imersão	OI	Retardante comercial	Imersão por 48 horas
Osmoguard Vácuo	OV	Retardante comercial	Vácuo por 2 horas
Osmoguard Pincelamento	OP	Retardante comercial	Pincelamento 3 demãos
Tanino + Verniz Pincelamento	TVP	Extrato tânico e Verniz	Pincelamento 3 demãos
Verniz Pincelamento	VP	Verniz	Pincelamento 3 demãos
Controle	CR	Sem produto	-

Após a aplicação dos produtos, determinou-se a retenção percentual dos produtos com base na relação entre a massa inicial e final da amostra (após o tratamento).

4.4. Caracterização colorimétrica

Para avaliar a influência dos tratamentos na coloração da madeira de forma quantitativa, realizou-se uma análise colorimétrica das amostras tratadas e de controle, utilizando o espectrofotômetro portátil (Konica Minolta, CR-410), tendo como base o Sistema CIELAB 1976 (Comissão Internacional de Iluminantes).

Para cada tratamento foram feitos dois arranjos contendo seis amostras em cada um. Para que todas as dez amostras do tratamento fossem avaliadas, duas amostras do primeiro arranjo foram usadas para formar o segundo arranjo, juntando-se as amostras que não foram usadas no primeiro arranjo (Figura 5). A partir da identificação das amostras, fez-se a esquematização das posições das amostras nos arranjos, permitindo assim replicar o mesmo arranjo em outras análises. Os parâmetros foram medidos 2 vezes em cada face de cada arranjo (uma na porção inferior e outra na porção superior), tendo assim 8 medições por tratamento e 72 medições no total.

Figura 5. Esquema para medição dos parâmetros colorimétricos. (A) Amostras do tratamento; (B) Arranjo para análise; (C) Medição dos parâmetros colorimétricos; (D) Obtenção e visualização dos parâmetros colorimétricos



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Com isso foram obtidos os parâmetros colorimétricos de: luminosidade (L^*), coordenada cromática verde-vermelho (a^*) e coordenada cromática azul-amarelo (b^*), a partir desses parâmetros e das (Equações 6 e 7) foram calculados os parâmetros colorimétricos de saturação da cor (C^*) e ângulo de tonalidade (h^*).

Esses parâmetros foram obtidos e calculados das amostras antes e após a aplicação dos produtos, exceto no controle, em que foram feitos apenas para as amostras antes da aplicação, visto que não foi utilizado nenhum produto e método de aplicação. Com isso, foi possível calcular a variação total da cor (ΔE) das amostras após a aplicação dos produtos (Equação 8). Os cálculos foram realizados conforme metodologia e especificações da norma técnica D2244

(ASTM, 2016).

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (6)$$

$$h^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (7)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (8)$$

Com os resultados da variação total da cor, foi possível qualificar a variação a partir dos critérios apresentados por Hikita *et al.*, (2001), que podem ser vistos na (Tabela 4).

Tabela 4. Critérios para a qualificação da variação total da cor (ΔE)

Condição da Variação	Valor
Imperceptível	$0,00 < \Delta E < 0,50$
Ligeiramente Perceptível	$0,50 < \Delta E < 1,50$
Notável	$1,50 < \Delta E < 3,00$
Apreciável	$3,00 < \Delta E < 6,00$
Muito apreciável	$6,00 < \Delta E < 12,00$

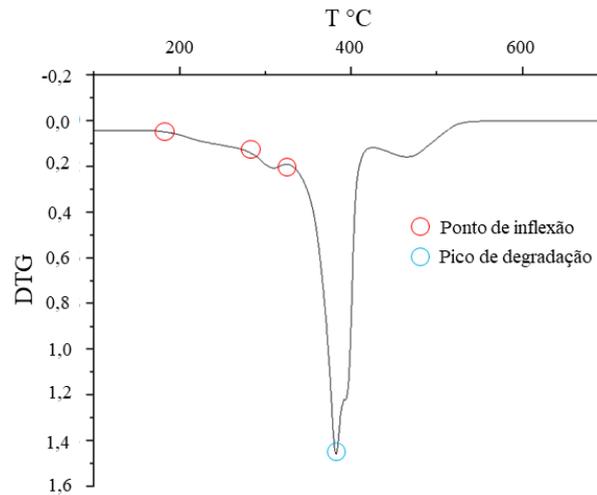
4.5. Análise termogravimétrica (TG) e Derivada da Curva Termogravimétrica (DTG)

Na análise termogravimétrica foram analisados os materiais utilizados nos tratamentos - extrato tânico, retardante comercial, verniz e o produto a base de tanino e verniz, exceto o extrato tânico, anteriormente as amostras foram secas em estufa por 24 horas a uma temperatura média de $103 \pm 2^\circ\text{C}$. Também foram analisadas as amostras tratadas (TI, TV, TP, OI, OV, OP, VP, VTP) e as de controle (CR). Na análise das amostras tratadas e de controle, as amostras foram seccionadas em forma de palitos e em seguida foram moídas em moinho do tipo Willer. O material resultante da moagem foi classificado, sendo empregado na análise o material retido na peneira de 40 mesh.

A análise termogravimétrica das amostras e dos materiais utilizados foi realizada através de dois equipamentos, o Shimadzu DTG-60H e TA Instruments SDT Q-600. Ambos realizados na condição atmosférica oxidativa, em fluxo gasoso de $100 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, com uma taxa de aquecimento de $20^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$, em um gradiente de temperatura partindo de temperatura ambiente a 1.000°C , onde foi usado aproximadamente 08 mg de amostra. A perda de massa em função da temperatura e a curva da derivada primeira da perda de massa foram determinadas em acordo com a norma E2550-17 (ASTM, 2017), utilizou-se o software de análise de dados e gráficos Origin versão 2022. Através da curva da derivada primeira foram identificados os inícios da

ignição (ponto de inflexão) e os picos de degradação (Figura 6).

Figura 6. Ilustração do ponto de inflexão e pico de degradação na DTG



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

4.6. Teste de queima a curta exposição à chama

O teste de queima a curta exposição à chama foi baseado na metodologia de Tondi *et al.*, (2012), onde foram queimadas cinco amostras para cada tratamento e controle (Tabela 3). Com o objetivo de padronizar a queima, antes de iniciá-la, foi realizada a regulagem da altura do queimador de Bunsen com a tela de suporte das amostras, fazendo com que apenas a chama azul estivesse em contato com as amostras (Figura 7).

Figura 7. Equipamentos e amostras. (A) Equipamentos utilizados no teste de queima; (B) Amostra após a aplicação do produto; (C) Amostra após o teste de queima



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Também foi padronizada a face da amostra que seria exposta a chama, determinou-se a

face de maior dimensão, que seria a face tangencial da amostra. A alimentação com o queimador foi feita ininterruptamente por um período de 120 segundos.

No teste de queima foram obtidos os Tempos: de Ignição (TI), de Chama (TC) e de Brasa (TB). Onde, TI se referiu ao tempo necessário para que ocorra chama visível na amostra (s); o TC foi dado pelo tempo em que não há mais presença de chama visível após o cessar da chama do queimador (s) e TB, como o tempo necessário para a completa extinção da brasa, em que a amostra não apresente pontos vermelhos e ou fumaça (s). Durante o teste os tempos foram determinados com o auxílio de um cronômetro digital (Figura 8).

Figura 8. Teste de queima a curta exposição a chama. (A) Momento em que se inicia a ignição da chama na amostra (Tempo de Ignição); (B) Amostra se encontra em chamas mesmo após o cessar da alimentação (Tempo de Chama); (C) Pontos vermelhos indicando que a amostra ainda está em processo de queima (Tempo de Brasa)



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Após o teste de queima a curta exposição à chama, foi determinada a massa das amostras queimadas para o cálculo da Massa Residual, calculada através da (Equação 9).

$$MR (\%) = \left(\frac{mq}{mt} \right) * 100$$

Em que: MR(%): Massa residual (%); mq: massa da amostra após a queima (g) e mt: massa da amostra tratada antes da queima (g)

As amostras queimadas foram seccionadas perpendicularmente ao eixo longitudinal, para que fosse possível visualizar o interior das amostras após o teste de queima. As faces cortadas foram alocadas em cima de um papel milimetrado e fotografadas, para facilitar a visualização da camada carbonizada (Figura 9).

Figura 9. Demonstração da identificação da área carbonizada e não carbonizada da amostra após teste de queima a curta exposição à chama



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

4.7. Análise estatística

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Atendendo aos pressupostos da distribuição normal e da normalidade de resíduos, a análise estatística se deu através da Análise de Variância (ANOVA), constatando-se diferença entre os tratamentos, realizou-se o Teste Tukey. Quando os pressupostos não foram atendidos, a análise estatística se deu através do Teste de Kruskal-Wallis e apresentando diferença entre os tratamentos, realizou-se o Teste Conover Lman de comparação entre as médias, com o p-valor sendo ajustado através do Método Bonferroni. As análises estatísticas foram realizadas através do Software de Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) R-Studio 2021.09.1 Build 372.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Solubilidade

O extrato tânico demonstrou ser mais solúvel em solventes inorgânicos (NaOH, Água Quente e Fria) em comparação com os solventes orgânicos (Álcool, Etanol Tolueno e Acetona). O solvente NaOH proporcionou a maior solubilidade, porém as solubilidades obtidas com Água Quente e Água Fria apresentaram valores muito próximos ao de NaOH, não sendo observada diferença estatística entre as solubilidades determinadas com esses três solventes (Tabela 5).

Tabela 5. Solubilidade média do extrato tanífero em diferentes solventes

Solvente	Solubilidade (%)
NaOH	99,98 ($\pm 0,03$) a
Água Quente	98,99 ($\pm 0,40$) a
Água Fria	98,68 ($\pm 2,02$) a
Álcool	24,94 ($\pm 1,18$) b
Etanol Tolueno	18,71 ($\pm 0,55$) c
Acetona	4,16 ($\pm 0,61$) d

Em que: Médias seguidas pela mesma letra não diferiram estatisticamente entre si pelo Teste Tukey a 5,00% de significância e valores entre parênteses se referem ao Desvio Padrão

O uso de água como solvente para a solubilidade do extrato tânico se torna mais vantajosa, pois esse solvente apresenta uma solubilidade bem próxima da encontrada para NaOH, além da água ser um tipo de solvente mais acessível que NaOH. Partindo de que a água seria o solvente mais indicado quanto aos valores de solubilidade e pensando na adoção de processos mais viáveis, escolheu-se utilizar para o preparo dos produtos à base de tanino, a água fria. Pois além de ter uma diferença mínima entre as duas solubilidades com água, não há necessidade do uso de energia para o aquecimento da água, possibilitando assim a redução dos gastos durante o processo produtivo.

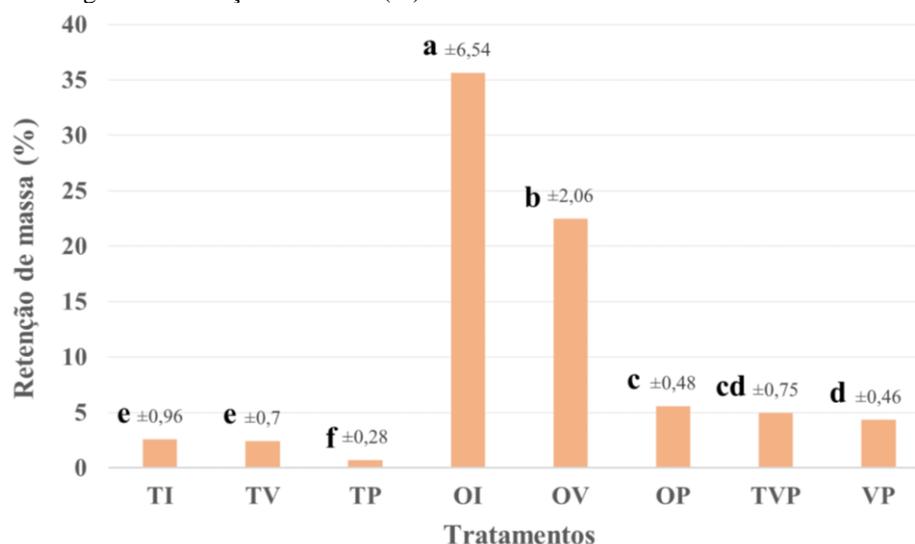
Partindo da escolha do solvente, determinou-se a precipitação do extrato tânico através de sua máxima diluição, sendo utilizados 100 ml de água destilada em temperatura ambiente (Água Fria) para a diluição do extrato tânico, que foi sendo adicionado ao solvente aos poucos, passando por um processo de agitação e repouso, até que fosse observada a precipitação do extrato tânico, ponto em que seria obtida a máxima quantidade de massa de extrato tânico que seria completamente solubilizada em 100 ml de água, a análise foi feita em triplicata. Sendo assim, foi determinada uma concentração de 50 g. l, sendo esta concentração utilizada para a

produção dos produtos à base de tanino.

5.2. Retenção de massa

A partir dos resultados apresentados na (Figura 10), observa-se que houve diferença entre os tratamentos para a retenção de massa em função do material utilizado. Os tratamentos com retardante comercial foram os que proporcionaram as maiores retenções, em seguida se tem os tratamentos que continham verniz em sua base e os com menores valores de retenção foram observados para as amostras tratadas com a solução de extrato tânico.

Figura 10. Porcentagem de Retenção de Massa (%) das amostras tratadas da madeira de *S. amara*



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Verifica-se que os métodos de aplicação dos materiais influenciaram na retenção de massa das amostras tratadas com retardante comercial, sendo encontrada diferença estatística entre os três tratamentos, onde OI teve uma retenção média de 35,64%, OV reteve 22,47% e OP 5,57%. As aplicações por imersão e a vácuo proporcionaram maior retenção do produto na amostra. Melhores resultados para essas duas técnicas podem ser pela maior fixação que elas proporcionam, durante o processo, tanto a imersão quanto o vácuo promovem a expulsão do ar presente nas células, possibilitando a entrada dos produtos. diferentemente do que acontece com o pincelamento, onde o produto atinge apenas as camadas superficiais da amostra.

Porém nas amostras tratadas com extrato tânico, os diferentes métodos de aplicação pouco influenciaram na retenção de massa, diferentemente do observado para os valores dos três métodos de aplicação com o retardante comercial. Estatisticamente o tratamento TP com

0,71% de massa retida, diferiu-se das amostras tratadas através da imersão (TI) e vácuo (TV), com retenção de 2,57% e 2,47% respectivamente. As amostras tratadas com verniz, cuja aplicação foi somente com o método de pincelamento, não diferiram estatisticamente entre si, mas nota-se que a adição de tanino pode ter proporcionado um ligeiro aumento da massa retida, a retenção de massa para os tratamentos TP e TVP foram bem próximos aos das amostras tratadas com retardante comercial pelo mesmo método de aplicação.

A maior retenção ter se dado para as amostras tratadas com retardante comercial, pode ser explicada através da sua própria composição, que segundo informações do fabricante, é composto de fosforado e nitrogenados, boratos, conservante, tensoativo, veículo e água. Essa composição facilita o acesso e fixação desses produtos na madeira. Somada à essa característica a densidade baixa da madeira de *S. amara*, proporcionaram uma maior retenção desse produto, visto que podem ficar alocados próximos a parede e no interior das células.

Zhang *et al.*, (2022) testando novas soluções catalisadoras, como ácido bórico e dihidrogenofosfato de amônio para madeiras furfuriladas, observaram que a adição dessas substâncias catalisadoras proporcionou a adesão dos monômeros furfurilados na parede celular. Keskin, Atar e Mahmut (2009) também encontraram diferença na impregnação em função do material utilizado, onde a maior retenção para um tipo de solução, foi em função da sua alta concentração.

Para as amostras tratadas com a solução de extrato tânico, as características físicas da madeira não proporcionaram o mesmo comportamento da retenção de massa das tratadas com retardante comercial. A menor retenção das amostras tratadas com a solução de extrato tânico, pode ser justificada pela própria composição da solução usada para tratar as madeiras, visto que a solução foi preparada apenas com extrato tânico e água destilada. Não havendo na composição substâncias que poderiam proporcionar uma maior fixação do tanino. Além do tanino ser uma substância extrativa, que pode ser extraída por vários tipos de solventes, inclusive a água (HASLAM, 1996; ARBOUZ e ALVAREZ, 2015)

Além das características inerentes à madeira, como porosidade, presença de tilos, quantidade e tipos de compostos acidentais (ROWELL, 2013), tanto os materiais quanto as técnicas de aplicação podem influenciar na impregnação e retenção de um produto utilizado para o tratamento da madeira. A retenção pode inferir sobre a fixação dos materiais na madeira, que podem estar na parede ou interior das paredes, exercendo influência na proteção da madeira tratada.

5.3. Análise Colorimétrica

De forma geral, os tratamentos que mais influenciaram na coloração das amostras tratadas foram os que continham em composição extrato tânico. No parâmetro de luminosidade (L^*), as amostras tratadas com extrato tânico foram as que apresentaram menores valores para esse parâmetro em relação as amostras controle. Visto para o parâmetro de luminosidade (L^*) quanto maior o valor mais clara seria a amostra, pode-se dizer que as amostras tratadas com extrato tânico escureceram, sendo em função da coloração do extrato tânico, que é escura. As amostras tratadas com o retardante comercial e com o verniz, que por serem materiais “incolores”, obtiveram valores médios de L^* próximas ao do controle.

Na cromática do verde-vermelho (a^*), as amostras com tanino ficaram mais próximas do croma vermelho por influência da coloração do tanino, enquanto que os tratamentos com retardante comercial e verniz, poucos diferiram da amostra controle, sendo TVP o que mais se diferiu da amostra não tratada (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios dos parâmetros colorimétricos das amostras tratadas e de controle da madeira de *S. amara*

Tratamento	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
TI	61,96 f ($\pm 0,61$)	6,94 b ($\pm 0,49$)	19,38 d ($\pm 0,53$)	20,59 ef ($\pm 0,60$)	70,30 de ($\pm 1,11$)
TV	65,39 e ($\pm 1,24$)	6,98 b ($\pm 0,31$)	21,22 c ($\pm 0,68$)	22,35 d ($\pm 0,65$)	71,78 d ($\pm 0,92$)
TP	62,80 f ($\pm 1,04$)	8,36 a ($\pm 0,32$)	22,47 b ($\pm 0,40$)	23,98 b ($\pm 0,31$)	69,58 e ($\pm 0,95$)
OI	79,59 c ($\pm 0,65$)	2,67 c ($\pm 0,20$)	24,65 a ($\pm 1,30$)	24,80 b ($\pm 1,29$)	83,80 bc ($\pm 0,64$)
OV	80,79 ab ($\pm 0,51$)	2,52 c ($\pm 0,18$)	23,10 b ($\pm 0,39$)	23,24 c ($\pm 0,39$)	83,78 c ($\pm 0,47$)
OP	80,57 b ($\pm 0,33$)	2,56 c ($\pm 0,14$)	21,71 c ($\pm 0,27$)	21,86 de ($\pm 0,25$)	83,28 c ($\pm 0,42$)
TVP	54,98 g ($\pm 0,94$)	12,78 a ($\pm 0,30$)	23,25 b ($\pm 0,58$)	26,53 a ($\pm 0,42$)	61,18 f ($\pm 1,10$)
VP	78,26 d ($\pm 0,51$)	2,01 d ($\pm 0,18$)	24,44 a ($\pm 0,44$)	24,52 b ($\pm 0,43$)	85,29 a ($\pm 0,46$)
CR	81,37 a ($\pm 0,40$)	1,86 d ($\pm 0,15$)	18,89 d ($\pm 0,40$)	18,98 f ($\pm 0,40$)	84,38 ab ($\pm 0,47$)

Em que: L^* : Luminosidade; a^* : Coordenada Cromática Verde-Vermelho; b^* : Coordenada Cromática Azul-Amarelo; C^* : Saturação da cor; h^* : Ângulo de Tonalidade. Médias seguidas pela mesma letra não diferiram estatisticamente entre si, adotando 0,05 de significância para o Teste de Conover Lman

Na cromática do amarelo-azul (b^*) todos os tratamentos avaliados proporcionaram um aumento nos valores desses parâmetros, tendo coloração mais próxima do amarelo (COMMISSION INTERNACIONALE DE L'ECLAIRAGE, 2004). Exceto as amostras do tratamento TI, todos os tratamentos diferiram estatisticamente da amostra controle. Os tratamentos OI e VP foram os que apresentaram os valores mais diferentes das não tratadas (Figura 11). Na saturação (C^*) não foi observada uma influência direta dos materiais para a alteração desse parâmetro em função da amostra controle.

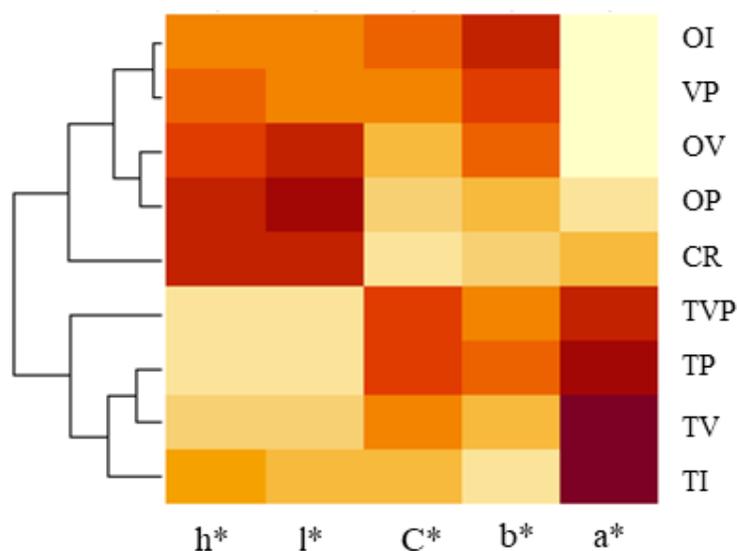
O parâmetro do ângulo de tonalidade (h^*) pode ser usado para classificar as madeiras, visto que ele pode indicar a cor em função da posição em relação aos eixos do croma azul-amarelo e verde-vermelho. Analisando-o, teve que os tratamentos com extrato tânico foram os que apresentaram menores valores em comparação com a amostra não tratada, ficando mais próximas do vermelho do que as amostras tratadas com retardante comercial e verniz. Pois de acordo com os ângulos das cores, o ângulo 0° corresponde ao vermelho, o de 90° ao amarelo, 180° para a cor verde e 270° para o azul (SHEWFELT *et al.*, 1988; MCGUIRE, 1992; COMMISSION INTERNACIONALE DE L'ECLAIRAGE, 2004).

Camargos e Gonzalez (2001) avaliaram a coloração de diferentes espécies de madeiras tropicais, usaram os valores dos parâmetros colorimétricos para a formação de grupos de cores de madeiras, onde cada grupo de cor continha intervalos de valores para cada parâmetro.

Baseando-se na classificação desses autores, a partir dos parâmetros determinados após o tratamento das amostras. Os tratamentos TV e TP foram agrupados na cor Olívia-Amarelo, TI em Cinza-Rosado e TVP em Marrom-Claro. Os valores observados para as amostras dos tratamentos com verniz e retardante comercial, assim como as de controle, enquadraram-se por aproximação na cor branco-acinzentado. Essa modificação nas amostras tratadas com extrato tânico, pode ser explicada pela presença dos taninos, visto que extrativos geralmente possuem relação direta com a coloração da madeira (BURGER e RICHTER, 1991), sendo matérias-primas utilizadas para o tingimento, afetando a coloração das amostras.

Foi realizado um agrupamento dos tratamentos em função dos parâmetros colorimétricos (Figura 11).

Figura 11. Porcentagem de Retenção de Massa (%) das amostras tratadas da madeira de *S. amara*



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Observou-se que as amostras tratadas com retardante comercial se mantiveram próximas às não tratadas (controle), diferentemente do observado para as amostras tratadas com extrato tânico, onde foi possível observar que o uso de tanino modificou a coloração das amostras.

Partindo do princípio de que em relação ao parâmetro colorimétrico de variação total da cor (ΔE , valores mais próximos de zero sugerem pouca influência do tratamento na coloração da madeira, conseqüentemente, maiores valores indicariam a alteração da coloração em função do tratamento utilizado. Os tratamentos que utilizaram extrato tânico em sua composição foram os que apresentaram os maiores valores para esse parâmetro. O que menos se alterou foi OP com (3,24), e o que mais modificou a coloração da madeira foi o (TVP) com (29,14) (Tabela 7).

Tabela 7. Variação total da cor das amostras tratadas da madeira de *S. amara*

Tratamentos			
Controle	Tanino Imersão	Osmoguard Imersão	
			
ΔE -	20,23 b ($\pm 0,71$)	6,00 d ($\pm 1,41$)	
Tratamentos			
Verniz P.	Tanino Vácuo	Osmoguard Vácuo	
			
ΔE 6,36 d ($\pm 0,57$)	16,96 c ($\pm 1,13$)	4,21 e ($\pm 0,44$)	
Tratamentos			
Tanino + Verniz P.	Tanino P.	Osmoguard P.	
			
ΔE 29,14 a ($\pm 0,83$)	20,26 b ($\pm 0,85$)	3,24 f ($\pm 0,36$)	

Em que: Médias seguidas com a mesma letra não diferiram estatisticamente entre si, adotando 0,05 de significância para o Teste de Conover Lman

Adotando a classificação da variação total da cor proposta por Hikita *et al.*, (2001), todos

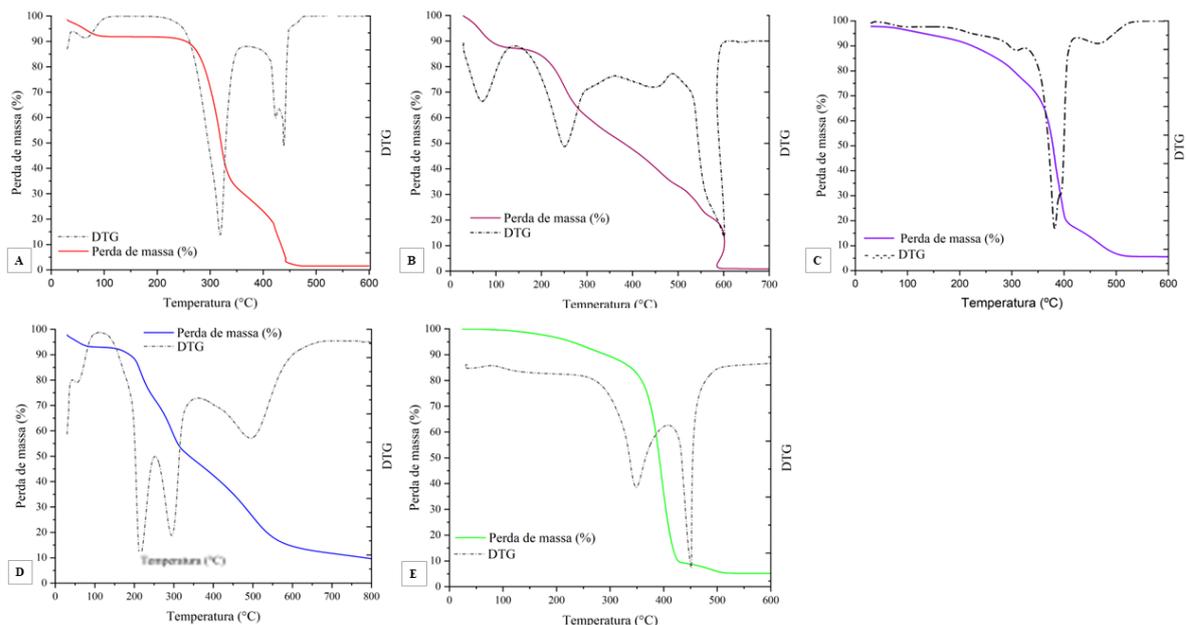
os tratamentos com retardante comercial apresentaram uma variação do tipo apreciável, enquanto que os demais tratamentos, que continham tanino e ou verniz, foram classificados em muito apreciável.

A capacidade do extrato tânico em promover a alteração da cor das madeiras de *S. amara*, que é uma madeira clara, pode ser um aspecto favorável ao uso desse material, visto que comumente, madeiras mais escuras estão associadas a maior densidade (COSTA *et al.*, 2021), presença de extrativos, ou seja, mais resistente à possíveis degradações (BURGUER e RICHTER, 1991). Demonstrando assim ter um potencial uso para a modificação da cor de madeiras mais claras, além da possibilidade de exercer alguma proteção na madeira através de um produto natural.

5.4. Análise Termogravimétrica

Apoiando-se nos resultados da análise termogravimétrica apresentados na (Figura 11), têm-se que as perdas de massa e derivadas da curva termogravimétrica da madeira sem tratamento e dos materiais utilizados (extrato tânico, retardante comercial, verniz e a mistura de tanino e verniz).

Figura 11. Comportamento das perdas de massa e derivada das curvas termogravimétricas dos materiais utilizados para o tratamento das amostras da madeira de *S. amara* em função da temperatura. (A) Madeira *S. amara*; (B) Extrato tânico; (C) Mistura tanino e verniz; (D) Retardante Comercial e (E) Verniz



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Inicialmente a madeira de *S. amara* apresentou um pico de degradação inicial por volta de 100 °C, comportamento comum da madeira em geral, visto que é o momento em que há perda de massa em função da eliminação da água. Pinto e Calil (2006) trazem que nas fases iniciais da combustão, a madeira ao ser aquecida, libera gases e vapor e a partir de 100°C que se inicia a quebra das ligações químicas. Nessa faixa de temperatura, a madeira avaliada ainda continha cerca de 92 % da sua massa inicial.

A degradação da madeira sem tratamento se iniciou na temperatura de 245 °C, contendo 91,72% da massa inicial, e atingiu o maior pico de degradação na temperatura de 320 °C, onde a madeira teve sua massa inicial reduzida a 50,63%. Entre 200 e 300 °C ocorre a pirólise dos principais componentes da madeira (ROWELL, 2013) e as ligações de carbono-carbono se rompem de 150 a 300°C, porém para a celulose, a maior perda de massa se dá na faixa de 300 a 400°C (FIGUEROA e MORAES, 2009).

Em 224 °C iniciou o segundo pico de degradação, que se deu em torno de 440 °C (Figura 11-A), onde apresentou uma massa residual de 6%. A partir da 400°C se tem uma queima mais lenta dos componentes da madeira, finalizando a degradação da celulose e a combustão vai se estabilizando (YANG, *et al.*, 2007; FIGUEROA e MORAES, 2009). Em altas temperaturas houve uma elevada redução da massa inicial da madeira, demonstrando ser essencial o tratamento da madeira, afim de retardar ou diminuir a perda de massa.

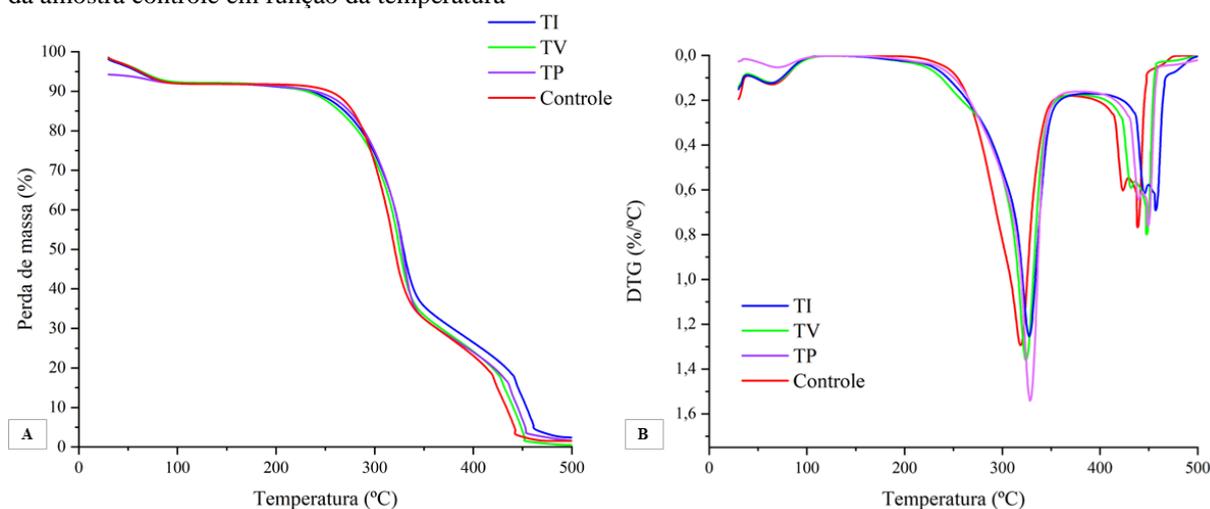
O extrato tânico apresentou comportamento distinto ao da madeira de *S. amara* (Figura 11-B), pois apesar de apresentar dois picos de degradação, as maiores perdas de massa ocorreram em faixas de temperatura diferentes. O primeiro pico de degradação ocorreu em torno de 250 °C, restando 72% da massa residual, porém a maior degradação ocorreu em 600 °C, restando cerca de 14% de massa. Essa característica pode ter se dado pela composição química do tanino, que é um polifenol constituído de fortes ligações de carbono, sendo termicamente mais estáveis (BHATLA e LAL, 2018).

O retardante comercial também apresentou comportamento diferente, pois de acordo com a perda de massa e derivada da curva termogravimétrica, a maior degradação ocorreu em uma faixa de temperatura menor que a da madeira sem tratamento e do extrato tânico (Figura 11). Apesar de o seu maior pico de degradação ocorrer em uma menor faixa de temperatura em relação aos outros materiais, em 214 °C, restavam cerca de 84% da massa inicial, o segundo pico ocorreu em 294 °C e o terceiro em 495 °C, onde a massa residual passou a ser de 33,88%. Comportamento esperado visto que é um material que apresenta sais em sua composição, que retardam a combustão e preservam a massa do material (MARTINS, 2016, MARQUES *et al.*, 2018)

Os dois tratamentos com verniz (puro e com extrato tânico) apresentaram curvas de perda de massa e derivada da curva termogravimétrica distintos entre si e entre os demais materiais, pois as maiores degradações ocorreram em faixas diferentes dos outros materiais. Para o verniz puro, foram observados dois picos de degradação, o primeiro, deu-se em 349°C, e o segundo e mais expressivo, em 484 °C. A adição de extrato tânico pode ter influenciado no comportamento térmico do verniz, pois notou-se apenas um pico de degradação para essa mistura de materiais, ocorrendo em 382 °C. E nos dois tratamentos com verniz, a maior degradação ocorrendo em temperaturas mais altas do que a observada para a amostra sem tratamento (Figura 11).

Através da (Figura 12) foi possível observar o comportamento térmico das amostras tratadas com extrato tânico através dos diferentes métodos de aplicação, comparando-os entre si e com a amostra controle.

Figura 12. (A) Comportamento das perdas de massa das amostras tratadas (TI; TV e TP) e da amostra controle em função da temperatura; (B) Derivada das Curvas Termogravimétricas das amostras tratadas (TI; TV e TP) e da amostra controle em função da temperatura

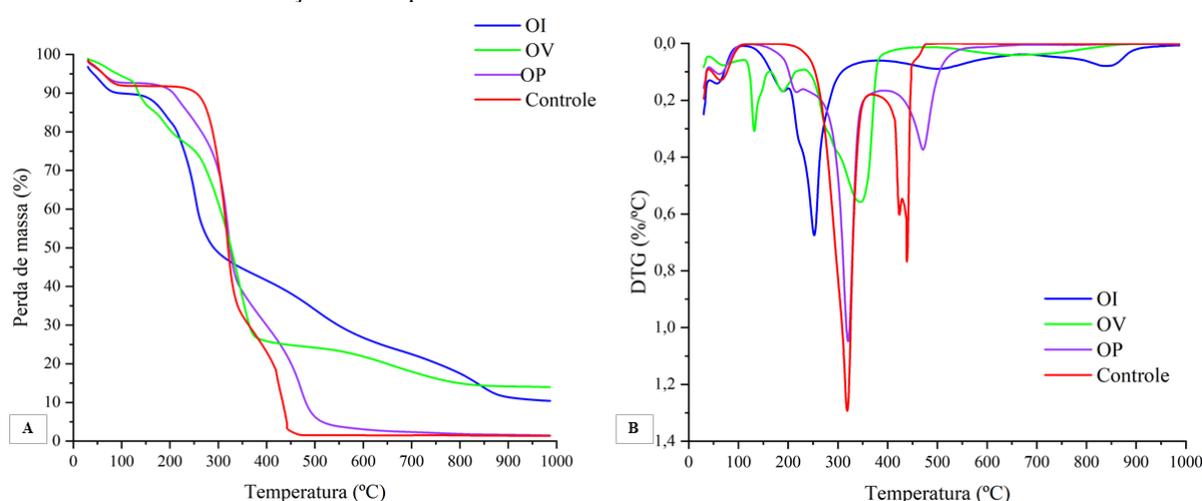


Em geral, os três tratamentos com extrato tânico (TI, TV e TP) foram capazes de diminuir a perda de massa e aumentar a temperatura do momento em ocorreu a maior degradação, quando comparado às amostras não tratadas. Comparando a perda de massa das amostras do tratamento (TI) na temperatura de 320 °C, que foi onde ocorreu o pico de maior degradação da amostra sem tratamento, tem-se que nesse tratamento, houve um aumento de mais de 10% no valor da massa residual. As amostras do tratamento (TP), apesar de serem as com menores valores de retenção de massa nos tratamentos com extrato tânico (Figura 10), apresentaram comportamento semelhante às do tratamento (TI), pois em 320 °C, continha 61%

de massa residual. As amostras do tratamento (TV) também apresentaram menores valores de perda de massa em 320 °C, porém em menor proporção que a dos demais métodos de aplicação.

Como é possível constatar na (Figura 13), o uso do retardante comercial, independente do tratamento aplicado, provocou um comportamento diferente da perda de massa em comparação com a curva das amostras sem tratamento nos três tratamentos com o produto, no entanto, observa-se também uma divergência entre os três métodos de aplicação utilizados para o tratamento.

Figura 13. (A) Comportamento das perdas de massa das amostras tratadas (OI; OV e OP) e da amostra controle em função da temperatura; (B) Derivada das Curvas Termogravimétricas das amostras tratadas (OI; OV e OP) e da amostra controle em função da temperatura



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Nas amostras do tratamento (OI), o pico de degradação ocorreu em 250 °C, inferior ao da amostra sem tratamento, apesar disso, esse tratamento fez-se eficaz, pois nessa temperatura a massa residual foi de 84%, sendo maior do que a observada para a amostra sem tratamento, que era de aproximadamente 50%. Após o pico de degradação, a curva tende a ser estabilizar, comportamento diferente do que foi observado para as amostras sem tratamento, que apresentou um segundo pico de degradação.

Para o tratamento (OV), a combustão foi menos estável que a do tratamento (OI), porém apresentou menores perda de massa que o tratamento (OP) e da amostra sem tratamento. Além de apresentar uma estabilidade da perda de massa após o pico de degradação. Os maiores picos ocorreram na temperatura de 132 °C, sendo esse o primeiro, e o segundo pico e maior, em 350 °C.

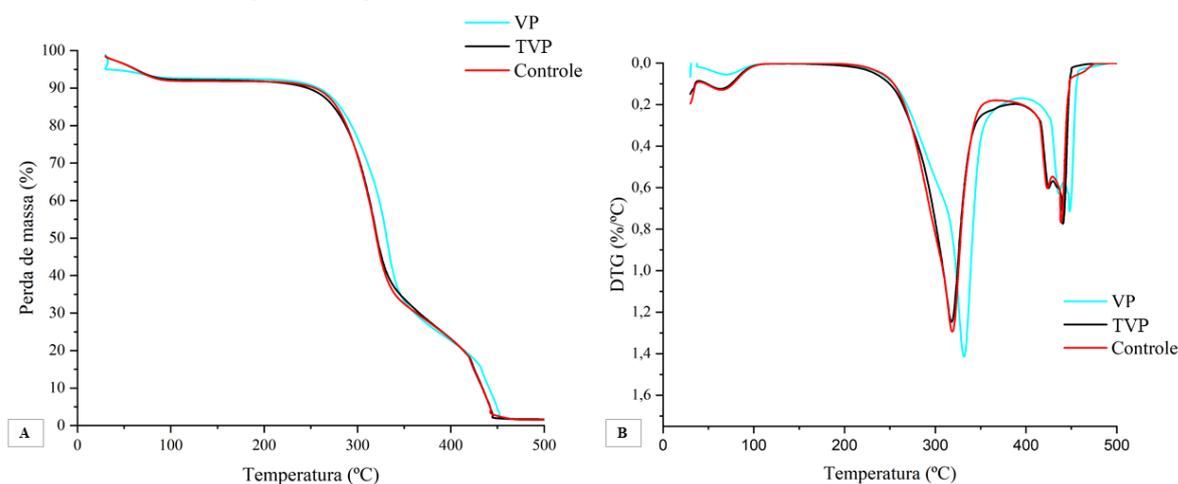
Para as amostras do tratamento (OP), o maior pico de degradação ocorreu na mesma faixa de temperatura da amostra sem tratamento, isso se deve pelo método de aplicação usado para esse tratamento, que foi através de uma aplicação mais superficial nas amostras. Apesar

disso, promoveu um aumento da massa residual em relação às amostras sem tratamento.

Pensando-se em um cenário de incêndio em altas temperaturas, os tratamentos (OI e OV) seriam mais efetivos na preservação da madeira, pois na temperatura de 500 °C, apresentaram uma massa residual igual a 34 e 24%, respectivamente, sendo superiores à encontrada para OP (6%) e da amostra sem tratamento (1,50%). A maior eficiência desses dois métodos, pode estar relacionado à impregnação do material, visto que foram os que apresentaram as maiores porcentagens de retenção de massa de todos os tratamentos avaliados (Figura 10).

Como pode ser visto na (Figura 14), não houve uma expressiva diferença entre os tratamentos com verniz em relação à amostra não tratada. Uma pequena distinção foi observada para VP, onde o pico de degradação ocorreu um pouco após ao de TVP e das amostras sem tratamento. Porém, observa-se que em elevadas temperaturas (500 °C), obtiveram valores de massa residual próximos entre si.

Figura 14. (A) Comportamento das perdas de massa das amostras tratadas (VP e TVP) e da amostra controle em função da temperatura; (B) Derivada das Curvas Termogravimétricas das amostras tratadas (VP e TVP) e da amostra controle em função da temperatura



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

A partir das análises termogravimétricas, tem-se que apesar da diferença observada para os diferentes métodos de aplicação para o retardante comercial e extrato tânico, a maior influência deu-se em função do tipo de material utilizado. Materiais que possibilitam a redução da taxa de combustão da madeira são importantes para produção de retardantes de fogo, pois em elevadas temperaturas, a madeira tende a diminuir a capacidade de resistência e de suporte ao ser degradada (PINTO e CALIL, 2006).

5.5. Queima de curta exposição à chama

Tanto os materiais utilizados no tratamento das amostras (extrato tânico, retardante comercial e verniz), quanto os métodos de aplicação (imersão, vácuo e pincelamento) influenciaram no comportamento térmico da madeira durante a queima (Tabela 8).

Tabela 8. Valores médios dos tempos de ignição (TI), de chama (TC) e brasa (TB) e massa residual (MR) das amostras tratadas e de controle

Tratamento	TI (s)	TC (s)	TB (s)
Tanino imersão	16,56 bc (±3,2)	119,49 bc (±8,46)	68,98 c (±16,89)
Tanino vácuo	11,54 cd (±1,61)	152,13 b (±34,63)	276,21 b (±87,32)
Tanino pincel.	15,95 bc (±2,84)	161,77 b (±44,18)	285,09 b (±73,74)
Osmoguard imersão	>120 a (±0)	0 d (±0)	0 d (±0)
Osmoguard vácuo	>120 a (±0)	0 d (±0)	0 d (±0)
Osmoguard pincel.	34,56 ab (±8,51)	27,21 cd (±2,42)	0 d (±0)
Tanino e Verniz pincel.	9,97 cd (±2,7)	151,5 b (±54,43)	411 ab (±124,46)
Verniz pincel.	12,39 cd (±2,64)	194,93 ab (±34,92)	357,85 b (±97,58)
Controle	10,58 cd (±2,59)	209,41 ab (±13,97)	698,63 a (±152,33)

Em que: Médias seguidas pela mesma letra não diferiram estatisticamente entre si, adotando 0,05 de significância para o Teste de Conover Lman. Valores entre parênteses referem-se ao Desvio Padrão

Para a ignição, que foi avaliada através da variável (TI), os tratamentos com retardante comercial foram os que apresentaram as melhores respostas. A maior eficiência desses tratamentos OI, OV e OP se deu em função da composição do retardante comercial, que é um produto específico para a retardância de chama, ou seja, tem a capacidade de dificultar a ignição. porém para o método de aplicação por pincelamento (OP), observou-se a ignição, diferente do observado para os tratamentos OI e OV, que não foi observada ignição (combustão flamejante). Os demais tratamentos apresentaram tempo de ignição próximos ao do controle (CR).

Maiores tempos de ignição, conforme verificado para os tratamentos com retardante comercial OI, OV e OV e o tratamento TI são importantes para que, segundo Pinto (2001), em casos de incêndios, além de evitar a propagação do fogo, possibilite um maior tempo de evacuação dos ocupantes de um edifício que esteja em incêndio.

Assim como ocorreu para a variável (TI), no tempo de chama (TC), os tratamentos com retardante comercial também foram os mais eficientes após os tratamentos com retardante comercial. Todas as amostras tratadas apresentaram menores tempos de chama (TC) e diferiram-se estatisticamente das amostras não tratadas. O tratamento (TI) foi o que apresentou o menor tempo de chama, diminuindo o tempo de chama (TC) em 90 (s) em comparação com o tempo observado para as amostras sem tratamento. Menores tempos de chamas são favoráveis ao controle do fogo, visto que podem diminuir a expansão das chamas, permitindo a extinção do incêndio (RIBEIRO *et al.*, 2003; PINTO, 2001).

O tempo de brasa (TB) permitiu avaliar a combustão incandescente das amostras de madeira. Nos tratamentos com retardante comercial, não foram observados de forma visível aos olhos pontos vermelhos e ou presença de fumaça, enquanto que nos demais tratamentos, mesmo havendo a incandescência, houve uma redução do tempo de brasa em relação às amostras sem tratamento. Menores tempos de brasa (TB) são requeridos, pois podem significar que esse material estaria por menos tempo em combustão, sendo assim menos degradado.

Para as amostras tratadas com extrato tânico, as do tratamento por imersão (TI) foram as que apresentaram o menor tempo de brasa (TB) em relação aos outros tratamentos. Com um tempo de brasa (TB) de 68,98 (s), esse foi 10 vezes menor que o obtido para a amostra sem tratamento (Tabela 8). O tratamento com extrato tânico e verniz (TVP) apresentou tempo de brasa maior do que o tratamento em que foi usado apenas o verniz (VP), isso pode ter ocorrido pelo verniz se tratar de um produto preparado em laboratório, podendo não ser aplicado de forma homogênea na madeira, assim como seria possível com um produto comercial.

Acerca da massa residual, todos os tratamentos tiveram maiores porcentagens de massa residual. As amostras tratadas com retardante comercial aumentou a massa residual em três vezes e as com extrato tânico e verniz em duas vezes em relação as amostras sem tratamento (Tabela 9). Resultado importante ao se pensar na utilização de madeiras na construção civil, visto que para peças estruturais, é necessário que se mantenha a peça mais próxima da sua estrutura anterior à exposição à chama (FIGUEROA e MORAES, 2009; WHITE e DIETENBERGE, 2010; ROCHA, 2014).

Como esperado por ter apresentado os melhores resultados para tempo de ignição (TI), tempo de chama (TC) e tempo de brasa (TB), os tratamentos com retardante comercial foram os que apresentaram os maiores valores para massa residual, porém (OI e OV) foram superiores ao do observado para (OP), que pode estar relacionado a retenção de massa desses tratamentos, que foram maiores os tratamentos com retardante comercial por imersão e a vácuo (Figura 10). Martins (2016) também observou que o uso do retardante comercial (chamas) melhorou as

propriedades térmicas da madeira, mantendo a estrutura da peça de madeira após a exposição ao fogo.

Tabela 9. Massa residual (%) e imagens das amostras após a queima e de sua face interna

Tratamento	Amostra após queima	MR (%)	Face interna após queima
Controle		28,48 f (±7,04)	
Tanino imersão		57,25 cd (±1,51)	
Tanino vácuo		45,87 de (±2,58)	
Tanino pincel.		41,58 ef (±2,43)	
Osmoguard imersão		82,02 a (±1,73)	
Osmoguard vácuo		78,17 ab (±1,45)	
Osmoguard pincel.		70,66 bc (±0,86)	
Verniz Pincel.		45,23 e (±6,96)	
Tanino e Verniz Pincel.		52,52 de (±8,38)	

Nas amostras tratadas com extrato tânico, o tratamento por imersão apresentou o maior valor de massa residual, restando cerca de 57% da massa inicial, sendo esse valor duas vezes maior do obtido para a amostra não tratada. Na análise dos tempos de ignição (TI) e de chama (TC), apesar de ter apresentado melhores resultados em relação as amostras tratadas, destacou-se mais em relação aos demais tratamentos com extrato tânico e verniz na variável tempo de brasa (TB), onde apresentou a maior diferença em comparação com a amostra não tratada, isso

pode ter influenciado na massa residual, visto que a queima visível se deu em um tempo menor, pode-se pensar que a adição de extrato tânico permitiu uma maior conservação da madeira exposta ao fogo.

Tondi *et al.*, (2012) avaliando retardantes de chamas que continham em sua composição uma mistura tanino-boro, também constaram que a adição de tanino promoveu um na resistência ao fogo, permitindo reduzir em dez vezes o tempo de brasa das amostras tratadas em comparação com a amostra controle

Os dois tratamentos com verniz (TVP e VP) aumentaram a massa residual, condição que pode estar relacionada à formação de uma película na superfície da madeira, como conforme observado por Marque *et al.*, (2018), que avaliando a queima de madeira tratada com tinta ignífuga, observaram que a proteção se deu pela formação de uma camada, que protegeu o interior da madeira. A maior massa residual encontrada para (TVP) apresentou 7% a mais de massa residual em comparação ao (VP), que pode estar relacionada ao aumento de carbono e fenóis pela adição de extrato tânico.

Através da (Tabela 9) é possível visualizar a diferença na estrutura das amostras após o processo de combustão. Todos os tratamentos proporcionaram a manutenção da estrutura em relação à amostra sem tratamento. Nota-se que as amostras tratadas com retardante comercial se mantiveram mais próxima à amostra antes da queima. O uso de extrato tânico também promoveu uma preservação da estrutura original, principalmente das amostras dos tratamentos (TI e TVP).

Trabalhos como de Nam *et al.*, 2019 constaram que a adição de tanino (ácido tânico) alterou os padrões térmicos da pirólise e da combustão, diminuindo a temperatura de degradação e fazendo com que se formasse de forma mais rápida uma camada de carvão isolante, assim como também promoveu uma redução na perda de massa. Silveira *et al.*, (2019) observaram que taninos podem ser usados em revestimentos intumescentes, constataram que a adição de tanino fez com que se aumentasse a massa residual e a formação de carvão, que se deu em função de sua alta aromaticidade. Resultado interessante visto que podem influenciar de forma positiva na preservação de uma peça estrutural exposta ao fogo, uma vez que a preservação da seção exerce influência direta na segurança da estrutura de um edifício e por consequente dos seus ocupantes (PINTO, 2001; MARTINS, 2016, SILVEIRA *et al.*, 2019).

Todos os tratamentos avaliados proporcionaram uma preservação do interior da madeira (Figura 13), enquanto que nas amostras não tratadas tiveram quase todo o seu interior carbonizado, o restante da área apesar de não ter sido carbonizada, sofreu alguma alteração durante a queima. Silveira *et al.*, (2019) trazem que a degradação do tanino se dá de forma

incompleta, fazendo com que se forme uma camada carbonizada devido a presença de polifenóis, que é uma fonte de carbono.

A camada carbonizada na seção transversal exerce influência na resistência da estrutura da madeira ao incêndio, mesmo que inicialmente a madeira promova uma ignição (WHITE e DIETENBERGE, 2010) a camada carbonizada por possuir uma condutividade térmica menor que madeira (NAM et al., 2019), acaba por promover um isolamento do interior da peça. Porém, é importante saber como se dá a formação dessa camada, visto que a madeira abaixo da camada carbonizada também sofre degradação, podendo haver prejuízo à sua resistência mecânica (PINTO e CALIL, 2006), a espessura da camada de carvão também deve ser considerada, pois a parte carbonizada apresenta uma menor resistência que a parte intacta (FIGUEROA e MORAES, 2009).

O tanino é uma importante fonte sustentável de polifenóis, sendo uma fonte de carbono capaz de ser usada com outras substâncias para a melhora das propriedades térmicas de diferentes tipos de materiais.

6. CONCLUSÕES

- O extrato tânico foi o material que mais influenciou na coloração, e o retardante comercial na retenção de massa. Os melhores resultados com retardante comercial e extrato tânico, deram-se através do método de aplicação por imersão.
- Todos os tratamentos influenciaram na redução da perda de massa, porém sendo mais expressiva nos tratamentos com retardante comercial.
- No teste de queima, o tratamento com extrato tânico por imersão promoveu expressiva redução no tempo de brasa (TB) e aumento da massa residual. Para todas as amostras tratadas, a camada carbonizada promoveu um isolamento do seu interior.
- O extrato tânico demonstrou ter potencial para ser utilizado como retardante de fogo em madeira.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE, **Estudo Setorial ABIMCI 2019: panorama da indústria brasileira de madeira**, 2019. Disponível em: < <https://abimci.com.br/publicacao/estudo-setorial-abimci-2019-panorama-da-industria-brasileira-de-madeira/>>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190/1997** (Projetos de estruturais de madeira). Rio de Janeiro, 107 p. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941/2003** (Madeira – Determinação da densidade básica). Rio de Janeiro, 6 p. 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E2550-17**: standard test method for thermal stability by thermogravimetry. West Conshohocken: ASTM International; 2017.

AGUILLAR FILHO, D. **Combustibilidade e tratamento ignífugos da madeira**. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, 1986.

ARBENZ, A; AVÉROUS, L Chemical modification of tannins to elaborate aromatic biobased macromolecular architectures. **Green Chemistry**. v. 17, n. 15, p. 2626-2646, 2015.

BASSO, M. C.; GIOVANDO, S.; PIZZI, A.; CELZARD, A.; FIERRO, V. Tannin/furanic foams without blowing agents and formaldehyde. **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 17-22, 2013.

BENDTSEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**. v. 28, n. 10, pag 61 - 71, 1978.

BHATLA, S.C.; LAL, M. A. Plant Physiology, Development and Metabolism, **Springer Nature** Singapore, 2018, 1237p.

BRAVO, L. Polyphenols: Chemistry, Dietary Sources, Metabolism, and Nutritional Significance. **Nutrition Reviews**, v 56, n. 1, p. 317-333, 1998.

BURGER, L. M. & RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo, SP: Ed. Nobel, 1991. 154 p.

CAMARGOS, J. A. A. & GONÇALEZ, J. C. A Colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, n. 71, p. 30-41, 2001.

CELZARD, A.; FIERRO, V.; AMARAL-LABAT, G.; PIZZI, A.; TORERO, J. Flammability assessment of tannin-based cellular materials. **Polymer Degradation and Stability**, v. 96, p. 477-482, 2011.

CHEN, X.; LI, J.; XI, X.; PIZZI, A.; ZHOU, X.; FREDON, E.; DU, G.; GERARDIN, C. Condensed tannin-glucose-based NIPU bio-foams of improved fire retardancy, **Polymer Degradation and Stability**, v. 175, 11p, 2020,

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **COLORIMETRY**. 3rd. ed. Viena: Central Bureau of the CIE, 2004. 82 p.

COSTA, A.C. S.; PEREIRA, B. L. C.; SILVA, M. F. A.; LENGOWSKI, E. C.; OLIVEIRA, A. C. Caracterização colorimétrica de pisos de madeiras tropicais amazônicas. **Advances in Forestry Science**, V. 8, N. 3, P. 1511-1518, 2021.

CRANG, R.; LYONS-WOBQWKI, S.; WISE, R. Plant Anatomy – A concept -based approach to the structure of seed plants. **Springer Nature** Switzerland AG. 2018, 725p.

DAS, A. K.; ISLAM, Md. N.; FARUK, Md. O.; ASHADUZZAMAN, MD.; DUNGANI, R. Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities. **South African Journal of Botany**, v. 135, p. 58-70, 2020.

FIGUEROA, M. J. M., MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Revista Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 157-174, Porto Alegre, Dez. 2009.

FOELKEL, C. E. B. et al. Variabilidade no sentido radial de madeira de *Pinus elliottii*. **IPEF**, n. 10, p. 1-11, 1975.

GOMES, J. J.; TOLEDO FILHO, R. D.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, V. R.; NÓBREGA, M. V. Características tecnológicas da *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. e alternativas para uso racional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 537-542, 2007.

HASLAM, E. Natural Polyphenols (Vegetable Tannins) as Drugs: Possible Modes of Action. **J. Nat. Prod**, v. 59 n. 02, p. 205-215, 1996.

HU, J.; THEVENON, M.F.; PALANTI, S.; TONDI, G. Tannin-caprolactam and Tannin-PEG formulations as outdoor wood preservatives: weathering properties. **Annals of Forest Science**. V. 74, n. 18, 2017.

HIKITA, Y.; TOYODA, T.; AZUMA, M. Weathering testing of timber: discoloration. In: Imamura, Y. (Ed.). **High performance utilization of wood for outdoor uses**. 1 ed. Kyoto, Japão: Press-net, 2001. p. 27-32.

KESKIN, H.; ATAR M.; MAHMUT, I. Impacts of impregnation chemicals on combustion properties of the laminated wood materials produced combination of beech and poplar veneers. **Construction and Building MATERIALS**, v. 23, p. 634-643, 2009.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000, 324 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, PR.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B. **Química da madeira**. 2.ed. Curitiba: FUPEF – Série didática n.2/98, 1998. 91 p.

LEAL, S.C. da SILVA. **Avaliação do comportamento mecânico de madeira antiga de Carvalho proveniente de Incêndio**. 2010. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil

– Especialização em Construções Cívicas. Faculdade de Engenharia de Porto, Porto-Portugal.

LEVAN, S. L. Chemistry of fire retardancy. **Advances in Chemistry**, v. 207. p. 531-574, 1984.

MARQUES, V. D.; RIBES, D. D.; CANIL, V. C. M.; GATTO, D. A. Retardantes de Chamas Comerciais em Quatro Variedades de Eucalipto. **Revista Matéria**, v. 23, n. 03, p. 09, 2018.

MARTINS, G. C. A. **Análise Numérica e Experimental de vigas de Madeira Laminada Colada em Situação de Incêndio**. 2016. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil - Estruturas) Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

MCGUIRE, R. G. Reporting of Objective Color Measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254-1255, 1992.

PAULA, M. O., MOREIRA, G. R., SEGUNDINHO. Análise termomecânica da madeira de *Corymbia citriodora* submetida a gradientes térmicos, **Floresta e Ambiente**, v. 21, n.3, p.358-368, Julho, 2014.

PINTO, E. M. **Proteção contra incêndio para habitações em madeira**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001, 143 p.

PINTO, E. M. & CALIL JUNIOR, C. Estudo teórico e experimental sobre a degradação térmica e os gradientes térmicos da madeira de *Eucalyptus* de uso estrutural exposta ao fogo. **Minerva**, v. 3, n. 2, p. 131-140, 2006.

PIZZI A. Tannins: Major Sources, Properties and Application. In: Belgacem M, Gandini A, eds. **Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources**. Amsterdam: Elsevier, p. 179-199, 2008.

PIZZI, A. Tannin-Based Biofoams - A Review. **Journal of Renewable Materials**, v. 05, n. 07, p. 477-492, 2019.

PORTER, L. J. Structure and Chemical Properties of the Condensed Tannins. In: Hemingway RW, Laks PE, ed. **Plants Polyphenols: Synthesis, Properties, Significance**. Boston: Springer, 1992, p.245-248.

RIBEIRO, F. A., FILHO, J. Z. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp, **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF)**, n. 46. p. 76-85, Araraquara/ SP, 2003.

ROCHA, M. A. F. **Determinação experimental de propriedades de combustão de madeiras maciças brasileiras** – RIO DE JANEIRO: UFRJ/COPPE, 2014, 147p.

ROWELL, R.M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Florence: CRC Press, 2013. p. 687.

SHEWFELT, R. L., THAI, C. M.; DAVIS, J. W. Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. **J. Food Sci.** 53, p. 1433-1437, 1988.

SHIRNMOHAMMADLI, Y.; EFHAMISISI, D.; PIZZI, A. Tannins as a sustainable raw

material for green chemistry: A review. **Industrial Crops e Products**, v. 126, p. 316-332, 2018.

SILVA, M.R. **Efeito do tratamento térmico nas propriedades químicas, físicas e mecânicas em elementos estruturais de *Eucalyptus citriodora* e *Pinus taeda***. Tese (Doutorado em Estruturas de Madeira) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, 2012, 223 p.

SILVEIRA, M. R.; PERES, R. S.; MORITZ, V. F.; FERREIRA, C. A. Intumescent Coatings Based on Tannins for Fire Protection. **Material Research**, v. 22, n.02, p. 09, 2019.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Test methods**. Atlanta: TAPPI Press, 2 v, 2007.

TONDI, G.; PIZZI, A. Tannin-based rigid foams: Characterization and modification, **Industrial Crops and Products**, v. 29, 2008.

TONDI, G., WIELAND, S., WIMMER T. et al.; Tannin-boron preservatives for wood buildings: mechanical and fire properties, **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, n 5, p 689–696. Sep. 2012.

TRIBUTSCH, T.; FIECHTER, S. **The material strategy of fire-resistant tree barks** in: "High Performance Structures and Materials IV" Eds.: W.P. de Wilde, C.A. Brebbia, Published by WIT Press WIT Transactions on the Built Environment, v. 97, p. 43-52, 2008.

WHITE, H.; DIETENBERGER, M. A. **Fire Safety of Wood Construction**, in Wood Handbook, p. 18.1-18.23.

WILKIE, C.A.; MORGAN, A. B. **Fire Retardancy of Polymeric Materials**. Ed. 2, p. 856, 2012.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v. 86, p. 1781–1788, 2007.

ZENID, G. S. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: IPT, 2009. 99p.

ZHANG, T.; WEI, H.; GAO, J.; CHEN, S.; JIN, Y.; DENG.; WU, S.; XIAO, H. LI, W. Synthesis of sulfonated hierarchical carbons and theirs application on the production of furfural from wheat straw, **Molecular Catalysis**, v. 517, 2022.