



**COMPORTAMENTO DE MADEIRAS TROPICAIS SUBMETIDAS AO
INTEMPERISMO ARTIFICIAL E NATURAL.**

ROBERT ROSSI SILVA DE MESQUITA

TESE DE DOUTORADO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

COMPORTAMENTO DE MADEIRAS TROPICAIS SUBMETIDAS AO
INTEMPERISMO ARTIFICIAL E NATURAL.

ROBERT ROSSI SILVA DE MESQUITA

ORIENTADOR: JOAQUIM CARLOS GONÇALEZ

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPGEFL.TD –

BRASÍLIA/DF: JULHO – 2022

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
COMPORTAMENTO DE MADEIRAS TROPICAIS SUBMETIDAS AO
INTEMPERISMO ARTIFICIAL E NATURAL.

ROBERT ROSSI SILVA DE MESQUITA

TESE DE DOUTORADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.

APROVADA POR:

Profº Dr. Joaquim Carlos Gonzalez (EFL/UnB); (Presidente)

Profº Dr. Ailton Teixeira do Vale (EFL/UnB); (Membro interno)

Profº Dr. Francides da Silva Junior (ESALQ/USP); (Membro externo)

Profº Dr. José Tarcisio da Silva Oliveira (UFES); (Membro externo)

Dr. Divino Eterno Teixeira (LPF/SFB); (Suplente)

Brasília, julho de 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

MESQUITA, ROBERT ROSSI SILVA DE

COMPORTAMENTO DE MADEIRAS TROPICAIS SUBMETIDAS AO INTEMPERISMO ARTIFICIAL E NATURAL.

(EFL/FT/UNB, Doutor, Tese de Doutorado -Universidade de Brasília. Faculdade de
Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| 1. Ensaios de Intemperismo artificial | 2. Produtos de acabamento |
| 3. Infravermelho médio | 4. Fotodegradação |
| I. EFL/FT/UNB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MESQUITA., R. R. S. (2022). **Comportamento de madeiras tropicais submetidas ao intemperismo artificial e natural**. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Publicação PPGEFL.TD-XXX/XXX. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF. Xxxp

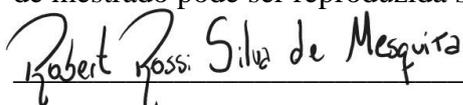
CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Robert Rossi Silva de Mesquita.

TÍTULO: **Comportamento de madeiras tropicais submetidas ao intemperismo artificial e natural.**

GRAU: Doutor ANO: 2022

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.



Robert Rossi Silva de Mesquita

AGRADECIMENTOS

É chegada a hora de concluir mais uma etapa importante da minha vida, talvez a mais desafiadora de todas. Não chegaria até aqui se não fossem as pessoas as quais cruzaram meu caminho no tempo em que me dediquei a esta tese e, principalmente, se não houvesse comigo a fé e auxílio do grande Deus, agradeço primeiramente a ele.

Agradeço ao meu orientador Joaquim Carlos Gonzalez. Me sinto honrado por ter sido orientado pelo senhor. Agradeço a cada orientação dada durante todos esses anos.

Agradeço aos meus pais, Francisco Valdete Farias de Mesquita e Maria das Neves Silva de mesquita, que sempre intercederam por mim durante todo o tempo, torcendo sempre pelo meu progresso.

A todos os funcionários do Serviço Florestal Brasileiro, pelo auxílio nas análises e por serem sempre tão solícitos e dispostos a ajudar. Agradecimentos especiais a Doutora Tereza Pastore, Alexandre, João (Em memória), Alessandro, muito obrigado por toda a ajuda nas análises e pela amizade.

Ao Mário Rabelo, uma pessoa exemplar ao qual admiro muito, me ajudou de forma surreal, me sinto imensamente grato por todo auxílio que me forneceu.

"Nós só podemos ver um pouco do futuro, mas o suficiente para perceber que há muito a fazer."

Alan Turing

RESUMO

COMPORTAMENTO DE MADEIRAS TROPICAIS SUBMETIDAS AO INTEMPERISMO ARTIFICIAL ACELERADO E NATURAL.

Autor: Robert Rossi Silva de Mesquita

Orientador: Joaquim Carlos Gonzalez

Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal

Brasília, junho de 2022.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento de madeiras das espécies *Simarouba amara* Aubl. (Marupá), *Manilkara bidentata* (Maçaranduba), *Cedrela fissilis* (Cedro), *Tabebuia* spp. (Ipê) e *Cariniana micrantha* Ducke (Jequitibá), sem produtos de acabamento e tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo artificial e natural. Para a execução do experimento artificial foi utilizada uma câmara de envelhecimento artificial seguindo a norma ASTM G154 (2006), e para o experimento de intemperismo natural foi utilizada a norma ASTM D1435 (1994). As amostras foram submetidas a 6 períodos de intemperismo natural totalizando 224 dias de exposição, e as amostras que foram testadas ao intemperismo artificial foram submetidas a 6 períodos totalizando 384 horas de exposição. Entre cada período foram verificados os parâmetros de cor, rugosidade e modificações químicas presentes nas superfícies das madeiras, bem como análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) antes e após o ensaio de intemperismo. Para obtenção dos parâmetros colorimétricos foi utilizado o método de espectrocolorimetria. Para a obtenção dos dados de rugosidade foi utilizado o rugosímetro de arraste de acordo com a norma JIS 0601 (2001). Para análise de modificação química superficial das amostras foi utilizado aparelho de espectrometria de reflectância difusa no infravermelho médio (DRIFT). Após o processo de intemperismo artificial e natural, as madeiras sofreram variação significativa em suas cores, sendo classificadas como apreciável e muito apreciável, nas quais a variação foi mais intensa no processo de intemperismo natural. A madeira de ipê tratada com verniz marítimo foi a que manteve suas características de cor mais preservadas, indicando o verniz marítimo como o melhor tratamento nas condições adotadas. Em relação a análise de rugosidade, o ensaio de intemperismo natural foi mais agressivo que o ensaio de intemperismo artificial, obtendo valores de rugosidade média bem superiores ao primeiro. A madeira de cedro tratada com verniz marítimo foi a que menos sofreu variação nas duas condições de ensaio. Para as configurações de intemperismos utilizadas neste trabalho, foi feita a correlação relacionando o quantitativo de tempo do intemperismo artificial que fosse correspondente ao natural, utilizando as amostras testemunhas. O resultado mostrou que para o cedro de 1 dia de intemperismo artificial corresponde a 4 dias do natural; ipê, de 1 dia de artificial é igual a 2 dias de natural; marupá, 1 dia de artificial igual a 31 dias de intemperismo natural e para a madeira de maçaranduba

1 dia de intemperismo natural corresponde a 4 dias de intemperismo natural. Através da análise MEV foi detectado a possível presença de organismos xilófagos em amostras que foram submetidas ao intemperismo natural. A análise MIR identificou a menor variação ocasionada pelos processos de intemperismo artificial e natural em madeiras de cedro tratadas com verniz.

Palavras-chave: madeiras, intemperismo, tropicais, colorimetria, infravermelho médio.

ABSTRACT

Author: Robert Rossi Silva de Mesquita

Advisor: Joaquim Carlos Gonzalez

Forestry Post-Graduation Program.

Brasilia, June 2022.

This work aimed to evaluate the behavior of wood species *Simarouba amara* Aubl. (Marupá), *Manilkara bidentata* (Maçaranduba), *Cedrela fissilis* (Cedro), *Tabebuia* spp. (Ipê) and *Cariniana micrantha* Ducke (Jequitibá), without finishing products and treated with common and marine varnish, subjected to artificial and natural weathering. For the execution of the artificial experiment, an artificial aging chamber was used following the ASTM G154 (2006) standard, and for the natural weathering experiment, the ASTM D1435 (1994) standard was used. The samples were submitted to 6 periods of natural weathering totaling 224 days of exposure, and samples that were tested to artificial weathering were submitted to 6 periods totaling 384 hours of exposure. Between each period, the parameters of color, roughness and chemical changes present in the surfaces of the woods were verified, as well as analysis of scanning electron microscopy (SEM) before and after the weathering test. To obtain the colorimetric parameters, spectrophotometry was used. To obtain the roughness data, a drag roughness meter was used according to the JIS 0601 (2001) standard. To analyze the surface chemical modification of the samples, a diffuse reflectance spectrometry device in the mid-infrared (DRIFT) was used. After the artificial and natural weathering process, the woods underwent significant variation in their colors, being classified as appreciable and very appreciable, in which the variation was more intense in the natural weathering process and the ipe wood treated with maritime varnish was the one that kept its color characteristics more preserved, indicating the maritime varnish as the best treatment in the adopted conditions. Regarding the roughness analysis, the natural weathering test was more

aggressive than the artificial weathering test, obtaining average roughness values much higher than the first one. Cedar wood treated with maritime varnish was the one that suffered the least variation in the two test conditions. For the weathering configurations used in this work, a correlation was made relating the amount of time of artificial weathering that corresponded to the natural one, using the control samples, and the result was 1 that for cedar 1 day of artificial weathering corresponds to 4 days of the natural; ipê, 1 day of artificial is equal to 2 days of natural; marupá, 1 day of artificial weathering equals 31 days of natural weathering and for maçaranduba wood 1 day of natural weathering corresponds to 4 days of natural weathering. Through SEM analysis, the possible presence of xylophagous organisms was detected in samples that were subjected to natural weathering. The MIR analysis identified the smallest variation caused by the processes of artificial and natural weathering in cedar wood treated with varnish.

Key words: woods, weathering, tropical, colorimetry, mid-infrared.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVO GERAL	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 PROPRIEDADES GERAIS DA MADEIRA.....	3
2.1.1 Constituintes químicos da madeira	3
2.1.2 Celulose.....	4
2.1.3 Hemicelulose (Polioses).....	5
2.1.4 Lignina	5
2.1.5 Extrativos	5
2.1.6 Propriedades organolépticas.....	6
2.1.7 Cor da madeira	7
2.1.8 Textura da madeira.....	8
2.2 ESPÉCIES EM ESTUDO	9
2.2.1 <i>Simarouba</i> amara Aubl. (Marupá)	9
2.2.2 <i>Manilkara bidentata</i> (Maçaranduba)	10
2.2.3 <i>Cedrela fissilis</i> (Cedro)	11
2.2.4 <i>Tabebuia</i> spp. (Ipê)	12
2.2.5 <i>Cariniana micrantha</i> Ducke (Jequitibá)	14
2.3 INTEMPERISMO NA MADEIRA.....	15
2.3.1 Fotodegradação na madeira.....	16
2.3.2 Intemperismo artificial acelerado.....	17
2.3.3 Efeitos do intemperismo nas propriedades da madeira.....	17
2.4 PRODUTOS DE ACABAMENTO SUPERFICIAL PARA MADEIRA	18
2.5 ANÁLISES NÃO DESTRUTIVAS DA MADEIRA.....	19
2.5.1 Colorimetria	20
2.5.2 Espectroscopia no infravermelho médio	22
2.5.3 Rugosidade superficial	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1 ORIGEM E PREPARO DOS CORPOS DE PROVA	25
3.2 ENSAIO DE INTEMPERISMO ARTIFICIAL	27
3.3 ENSAIO DE INTEMPERISMO NATURAL	29
3.3.1. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE BRASÍLIA.	32
3.4 COLORIMETRIA DA MADEIRA	32
3.5 RUGOSIDADE DA MADEIRA.....	34
3.6 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO MÉDIO	35
3.7 ANÁLISE DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	37
3.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 ANÁLISE DE COLORIMETRIA	39
4.1.1 Colorimetria das espécies submetidas ao ensaio de intemperismo natural.	39

4.1.2	Colorimetria das espécies submetidas ao ensaio de intemperismo artificial.	47
4.1.3.	Comparação entre intemperismo natural e artificial	53
4.2	ANÁLISES DE RUGOSIDADE	55
4.2.1	Rugosidade das espécies submetidas ao ensaio de intemperismo natural.	55
4.2.2	Rugosidade das espécies submetidas ao ensaio de intemperismo artificial.	63
4.3	ANÁLISES DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA- MEV	72
4.3.1	Espectroscopia Eletrônica de varredura da madeira de cedro	73
4.3.2	Espectroscopia Eletrônica de varredura da madeira de Ipê.....	74
4.3.3	Espectroscopia Eletrônica de varredura da madeira de Jequitibá	76
4.3.4	Espectroscopia Eletrônica de varredura da madeira de marupá.....	78
4.3.5	Espectroscopia Eletrônica de varredura da madeira de Maçaranduba.	80
4.4	ANÁLISES DE MICROSCOPIA NO INFRAVERMELHO MÉDIO- MIR.....	82
4.4.1	Microscopia no Infravermelho Médio- MIR para as Madeiras Estudadas – Intemperismo Natural.....	82
4.4.2	Microscopia no Infravermelho Médio- MIR para as Madeiras Estudadas – Intemperismo Artificial	93
5	CONCLUSÕES	103
6	RECOMENDAÇÕES.....	105
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
8	APÊNDICE 1	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 .Composição química das madeiras de coníferas e folhosas.	4
Tabela 2 .Programação utilizada no experimento de intemperismo artificial.	29
Tabela 3.Descrição de cada período de intemperismo natural.	30
Tabela 4.Organização dos ciclos de intemperismo natural.	31
Tabela 5.Classificação da variação total da cor (ΔE^*) de madeiras.	33
Tabela 6.Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de cedro submetida ao intemperismo Natural.	39
Tabela 7.Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de ipê submetida ao intemperismo Natural.	41
Tabela 8.Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de jequitibá submetida ao intemperismo Natural.	43
Tabela 9.Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de marupá submetida ao intemperismo Natural.	44
Tabela 10.Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de maçaranduba submetida ao intemperismo Natural.	45
Tabela 11.Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de cedro submetida ao intemperismo artificial.	47
Tabela 12.Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de ipê submetida ao intemperismo artificial.	49
Tabela 13.Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de marupá submetida ao intemperismo artificial.	50
Tabela 14.Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de maçaranduba submetida ao intemperismo artificial.	51
Tabela 15.Valores médios das rugosidades (R_a) das amostras de madeiras de cedro, ipê, jequitibá, marupá e de maçaranduba submetida ao intemperismo natural.	55
Tabela 16.Rugosidade média (R_a) das amostras de madeiras de cedro, ipê, jequitibá, marupá e de maçaranduba submetidas ao intemperismo artificial.	63
Tabela 17.Dados quantitativos de carbonila e lignina das madeiras de cedro submetidas ao processo de intemperismo natural.	88
Tabela 18.Dados quantitativos de carbonila e lignina das madeiras de jequitibá submetidas ao processo de intemperismo natural.	90
Tabela 19.Dados quantitativos de carbonila e lignina das madeiras de marupá submetidas ao processo de intemperismo natural.	91
Tabela 20.Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de cedro sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo artificial.	97
Tabela 21.Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de jequitibá sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo artificial.	99
Tabela 22.Valores médios da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de marupá sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo artificial.	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.Face tangencial (à esquerda) e radial da madeira de marupá (IPT, 2011).	10
Figura 2.Face tangencial (à esquerda) e radial da madeira de maçaranduba (IPT, 2011)... ..	11
Figura 3.Face tangencial (à esquerda) e radial da madeira de cedro (IPT, 2011).	12
Figura 4.Face tangencial (à esquerda) e radial da madeira de ipê (IPT, 2011).	14
Figura 5.Face tangencial (à esquerda) e radial da madeira de jequitibá (NAHUZ et al., 2011).	15
Figura 6.Espectro Visível (Fonte: Gouveia, 2008).	21
Figura 7.Espaço de cor tridimensional do sistema CIE-L*a*b*1976. (In. KONICA MINOLTA, 1998)	22
Figura 8.Amostras confeccionadas na marcenaria do serviço florestal Brasileiro.....	26
Figura 9.Amostras confeccionadas de ipê, maçaranduba, cedro, jequitibá e marupá.	27
Figura 10.Equipamento de envelhecimento acelerado QUV/Spray.....	28
Figura 11.Esquema do ensaio de intemperismo em câmara de envelhecimento artificial..	29
Figura 12.Stand de intemperismo natural, segundo a norma ASTM D1435.	30
Figura 13.Localização da estação meteorológica automática Brasília-A001. Fonte: INMET	31
Figura 14.Espectrofotômetro ColorEye XTH marca X-Rite., com microcomputador acoplado.....	33
Figura 15.Rugosímetro Mituoyo Suftest modelo SJ-400 em esquema de utilização descrito para o experimento.	34
Figura 16.Perfil de rugosidade superficial obtido pelo Rugosímetro Mituoyo Suftest modelo SJ-400.	35
Figura 17.Espectrofotômetro TENSOR 37, marca Bruker.	36
Figura 18.Dispositivo de reflectância difusa EasyDiff da marca PIKE.	36
Figura 19.Espectro de amostra de madeira com picos de interesse dos quais suas áreas sofreram integração para quantificação química.	37
Figura 20.Microscópio eletrônico de varredura (MEV) TM4000Plus.	38
Figura 21.Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de cedro submetidas ao intemperismo natural, conforme tratamentos aplicados.	58
Figura 22.Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de Ipê submetidas ao intemperismo natural, conforme tratamentos aplicados.	59
Figura 23.Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de Jequitibá submetidas ao intemperismo natural, conforme tratamentos aplicados.	60
Figura 24.Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de Marupá submetidas ao intemperismo natural, conforme tratamentos aplicados.	62
Figura 25.Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de Maçaranduba submetidas ao intemperismo natural, conforme tratamentos aplicados.	63
Figura 26.Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de cedro submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados.	66
Figura 27.Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de Ipê submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados.	68
Figura 28.Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de Jequitibá submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados.	69
Figura 29.Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de marupá submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados.	71

Figura 30. Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de maçaranduba submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados.....	72
Figura 31. Face tangencial da madeira de Cedro, sem tratamento, tratada com verniz comum e verniz marítimo, antes do processo de intemperismo natural.....	73
Figura 32. Face tangencial da madeira de Ipê, sem tratamento, tratada com verniz comum e verniz marítimo, antes do processo de intemperismo natural.	75
Figura 33. Face tangencial da madeira de Jequitibá, sem tratamento, tratada com verniz comum e verniz marítimo, antes do processo de intemperismo natural.....	77
Figura 34. Face tangencial da madeira de Marupá, sem tratamento, tratada com verniz comum e verniz marítimo, antes do processo de intemperismo natural.....	79
Figura 35. Face tangencial da madeira de Maçaranduba, sem tratamento, tratada com verniz comum e verniz marítimo, antes do processo de intemperismo natural.....	80
Figura 36. Espectro DRIFT das madeiras utilizadas sem tratamento e antes do ensaio de intemperismo.	83
Figura 37. Evolução dos espectros DRIFT da madeira de Cedro (A), Jequitibá (B) e Marupá (C), sem tratamento, com os ciclos de tempo de intemperismo natural.	84
Figura 38. Espectros da madeira de cedro(A), jequitibá(B) e marupá(C), respectivamente, sem tratamento (testemunha), e tratadas com verniz comum e marítimo, antes do processo de intemperismo natural.	85
Figura 39. Espectros DRIFT da madeira de cedro sem produto (A), tratada com verniz comum(B) e tratada com Verniz marítimo(C), antes (T1) e após (T6) o ensaio de intemperismo natural.	86
Figura 40. Espectros DRIFT da madeira de jequitibá sem produto (A), tratada com verniz comum(B) e tratada com Verniz marítimo(C), antes (T1) e após (T6) o ensaio de intemperismo natural.	87
Figura 41. Espectros DRIFT da madeira de marupá sem produto (A), tratada com verniz comum(B) e tratada com verniz marítimo(C), antes (T1) e após (T6) o ensaio de intemperismo natural.	88
Figura 42. Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de cedro sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo natural.	89
Figura 43. Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de jequitibá sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo natural.	91
Figura 44. Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de marupá sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo natural.	93
Figura 45. Espectros da madeira de cedro(A), jequitibá(B) e marupá(C), respectivamente, sem tratamento (testemunha), durante o processo de intemperismo.	94
Figura 46. Espectros DRIFT da madeira de cedro sem produto (A), antes (T1) e após (T6) o ensaio de intemperismo artificial.....	95
Figura 47. Espectros DRIFT da madeira de jequitibá Tratada com verniz comum (B), antes (T1) e após (T6) o ensaio de intemperismo artificial.	96
Figura 48. Espectros DRIFT da madeira de marupá, sem tratamento(A), tratada com verniz comum (B), e tratada com verniz marítimo(C), antes (T1) e após (T6) o ensaio de intemperismo artificial.....	97

Figura 49. Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de cedro sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo artificial.	99
Figura 50. Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de jequitibá sem produtos de acabamento (Testemunha - A), tratadas com verniz comum (B) e marítimo (C), submetidas ao intemperismo artificial.....	101
Figura 51. Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de marupá sem produtos de acabamento (Testemunha - A), tratadas com verniz comum (B) e marítimo (C), submetidas ao intemperismo artificial.....	103

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

a*	Eixo cromático vermelho-verde
b*	Eixo cromático amarelo-azul
C*	Cromaticidade
CIE	<i>Comission International de L'Eclairage</i>
Cwa	Clima subtropical de inverno seco
Cwb	Clima subtropical de altitude
DRIFT	Espectroscopia de reflectância difusa no infravermelho com transformada de Fourier
FTIR	Espectroscopia infravermelho com transformada de Fourier
h*	Ângulo de tinta
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IR	Absorção no infravermelho
L*	Claridade ou luminosidade
Ra	Média aritmética dos valores absolutos dos desvios do perfil
Rt	Soma da altura do pico máximo do perfil e a profundidade do vale máximo do perfil sobre a extensão avaliada
Rz	Soma da altura média dos cinco picos mais altos do perfil e a profundidade dos cinco vales mais profundos do perfil medidos de uma linha paralela à linha média
UV	Raios ultravioletas
u.a	Unidades de absorbância
Yi	Desvios do perfil de rugosidade superficial da madeira
Ypi	Picos mais altos do perfil de rugosidade superficial da madeira
Yvi	Vales mais profundos do perfil de rugosidade superficial da madeira
Yp	Pico mais alto do perfil de rugosidade superficial da madeira
Yv	Vale mais profundo do perfil de rugosidade superficial da madeira

Wa - Clima de savana, apresenta uma estação mais seca no inverno.

Δa Variação do parâmetro a^* (parâmetro colorimétrico do eixo de cores vermelho-verde) entre ciclos

Δb variação do parâmetro b^* (parâmetro colorimétrico do eixo de cores amarelo-azul) entre ciclos.

ΔE Variação da cor

ΔL Variação da luminosidade entre ciclos

1 INTRODUÇÃO

As características da madeira variam conforme a interação de seus componentes químicos e anatômicos com o ambiente, resultando em diferentes tonalidades de cores, durabilidade natural e resistência físico-mecânica. Por conseguinte, é importante conhecer as suas características para indicar um uso mais racional e eficiente. O uso apropriado da madeira é determinado pelo seu desempenho de acordo com a finalidade. Entretanto este desempenho pode ser alterado pelo processo de deterioração ocasionado pelo tempo atrelado a ação de vários outros fatores. A madeira exposta à radiação solar está sujeita à deterioração superficial, diminuindo o seu tempo útil de vida.

Inicialmente, ocorre uma mudança de cor e depois a perda de suas propriedades mecânicas (GONÇALEZ et al., 2010). Sendo um material orgânico complexo, a madeira pode sofrer deterioração de forma natural por fatores como, calor, luz, umidade e desgastes físicos causados por forças mecânicas.

A madeira submetida a intempéries, em curto período de tempo, apresenta variação de cor. O intemperismo, ação complexa e combinada do sol, da chuva ou umidade e dos ventos, é um processo superficial iniciado pela luz solar, que penetra apenas 2,0 mm abaixo da superfície (Hon, 2001). A radiação ultravioleta- UV (300-400 nm) do espectro solar é o fator considerado mais prejudicial, pois desencadeia reações de decomposição química da celulose, lignina e hemiceluloses (Feist e Hon, 1984).

Segundo Silva e Pastore (2004) apesar da ação do intemperismo ser limitada à superfície da madeira, constitui um problema para os usuários e tecnólogos, pois afeta o desempenho dos produtos aplicados sobre a mesma. Assim, as resinas que contêm compostos absorvedores de UV possuem tempo de vida limitado, exigem manutenção frequente, incluindo a sua remoção total e preparação de nova superfície (Feist e Hon, 1984). Somado-se a isto, os produtos semitransparentes permitem que a radiação atinja a superfície da madeira, degradando-a antes mesmo do revestimento (Pandey e Pitman, 2002; Silva e Pastore, 2004) e reduzindo o grau de adesão entre o produto e substrato (Pandey e Pitman, 2002).

A superfície da madeira é vulnerável a diferentes fatores destrutivos (AFROUZI et al., 2014). Quando a madeira é utilizada em ambientes externos, está sujeita ao fenômeno de intemperismo, no qual pode resultar em mudanças indesejáveis, tais como alteração da cor,

aumento na aspereza, rachaduras, desprendimento de suas fibras e alterações nas propriedades físicas e mecânicas (SUDIVANI et al., 1999; ACEVEDO et al., 2013).

Hon (2001), afirma que o intemperismo é uma complexa combinação da ação dos raios solares, da chuva ou da umidade e dos ventos que incidem na superfície da madeira. Devido ao intemperismo a superfície da madeira sofre mudanças que levam principalmente à variação da sua cor e brilho (ROWELL, 2005).

A mudança na cor da madeira ocorre principalmente pela radiação ultravioleta presente nos raios solares que atua com a temperatura, umidade e a gentes oxidantes, despolimerizando a lignina e a celulose da parede celular (TEMIZ et al., 2005).

A descoloração da madeira exposta à luz solar é ocasionada devido à modificação de grupos cromóforos capazes de absorver a radiação ultravioleta no comprimento de onda entre 300 e 400 nm (Temiz, et al., 2005). A exposição à luz causa modificações anatômicas (Chang et al., 1982). Em períodos longos de exposição é possível observar uma mudança nas propriedades viscoelásticas da madeira (George et al., 2005).

Alguns dos métodos comuns para proteger a madeira contra o intemperismo são: uso de revestimentos tais como tintas absorventes UV e/ou antioxidantes, vernizes, stains, acabamentos orgânicos e produtos hidro-repelentes (EVANS et al., 2005).

Outros métodos de proteção, como a modificação da madeira, vêm crescendo na última década devido a fatores como o aumento da consciência ambiental, disponibilidade de espécies tropicais, aumento da procura de madeiras de alta qualidade para aplicações na engenharia e movelaria e a necessidade de aumentar a vida útil da madeira (HAZARIKA et al., 2014).

O estudo e aplicação de espécies florestais nativas nas indústrias é de grande importância para a valorização das espécies que por não serem totalmente caracterizadas tecnologicamente acabam sendo desacreditadas quanto ao seu potencial. Neste sentido, a ação do intemperismo na madeira, carece ainda de informações técnicas, o que contribuiria também para melhor performance dos produtos de acabamentos. Assim, estudos que contribuam para melhor conhecer o material madeira, certamente irá colaborar para creditar o uso desta matéria prima nos mais variados segmentos industriais.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar o efeito de dois produtos de acabamento na proteção das madeiras de *Simarouba amara* Aubl (Marupá), *Manilkara bidentata* (Maçaranduba), *Cedrela fissilis* (Cedro), *Tabebuia* spp. (Ipê) e *Cariniana micranta* Ducke (Jequitibá) perante ao intemperismo artificial e natural.

1.1.1 Objetivos específicos

- Avaliar as modificações de cores e dos grupos químicos funcionais das por meio das técnicas colorimétricas e espectroscopia MIR.
- Avaliar a cor, alterações químicas, alterações anatômicas das superfícies das madeiras antes e após o tratamento com verniz comum e verniz marítimo.
- Verificar a espécie e o processo de acabamento mais resistentes ao intemperismo nas condições experimentais reproduzidas e nas condições naturais.
- Estabelecer a correlação entre os ensaios de intemperismo artificial acelerado com o intemperismo natural nas madeiras estudadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROPRIEDADES GERAIS DA MADEIRA

A madeira constitui um dos materiais naturais mais utilizados no mundo, em função de suas características de resistência, durabilidade, trabalhabilidade, composição química e, principalmente, pela facilidade de obtenção de produtos (PACE et al., 2018).

A madeira é um material heterogêneo, possuindo diferentes tipos de células, adaptadas a desempenharem funções específicas. As variações nas composições químicas, físicas e anatômicas da madeira são grandes entre espécies, embora dentro da mesma espécie elas também ocorram, em função principalmente da idade, fatores genéticos e ambientais (TRUGILHO et al., 1996).

2.1.1 Constituintes químicos da madeira

Segundo Browning (1963), a composição química da madeira é complexa, no qual os tecidos da madeira são compostos por vários componentes químicos que são distribuídos de modo randômico devido a estrutura anatômica. O maior percentual da madeira é composto de matérias de elevado peso molecular, sendo a madeira assim descrita como um

sistema interpenetrado de polímeros. Os componentes químicos da madeira estão dispostos em quantidades específicas e possuem características bem definidas, que podem ser influenciadas pelas condições às quais a madeira está submetida.

A composição química da madeira se resume basicamente a três polímeros distribuídos na parede celular: Celulose, hemicelulose e a lignina, que podem variar entre coníferas e folhosas, como mostra a Tabela 1:

Tabela 1 .Composição química das madeiras de coníferas e folhosas.

Componente	Coníferas (%)	Folhosas (%)
Celulose	42+- 2	45+-2
Hemicelulose	27 +-2	30+-5
Lignina	28+-2	20+-4
Extrativos	5+-3	3+-2

Fonte: Klock et al., 2005.

De acordo com Klock et al., (2005), a holocelulose corresponde ao conjunto de carboidratos celulose e hemicelulose. O autor menciona que além dos componentes principais, a madeira também possui os compostos de baixo peso molecular que são formados pelos extrativos e pelas substâncias minerais.

2.1.2 Celulose

O componente em maior abundância na madeira é a celulose, compondo aproximadamente a metade das madeiras de coníferas e folhosas. Tem como função principal ser o componente estrutural da parede celular dos vegetais, devido as suas propriedades físicas e químicas e por sua estrutura supramolecular (JANES, 1969).

Nos vegetais superiores aparece, principalmente, sob a forma de fibras, ao lado de outros componentes fundamentais e acidentais (TRUGILHO et al., 1996).

Klock et al (2005), caracterizam brevemente a celulose como um polímero linear de alto peso molecular, constituído exclusivamente de β -D-glicose, em que devido as suas propriedades químicas e físicas, bem como a sua estrutura molecular, preenche sua função como o principal componente da parede celular dos vegetais.

2.1.3 Hemicelulose (Polioses)

As hemiceluloses juntamente com a celulose formam a fração da madeira denominada holocelulose. São os principais polissacarídeos não-celulósicos da madeira, estando sempre associados à lignina e à celulose. Ocorrem ao longo de toda a parede celular desde a lamela média, até a camada S3 da parede secundária. Entretanto, o seu teor é maior nas camadas S1 e S3 e menor em S2 (TRUGILHO et al., 1996).

Também conhecida como polioses, as hemiceluloses são formadas por cinco açúcares neutros, as hexoses: glucoses, manose e galactose; e as pentoses: xilose e arabinose, são os principais constituintes das polioses. Algumas polioses contêm adicionalmente ácidos urônicos. As cadeias moleculares são muito mais curtas que a de celulose, podendo existir grupos laterais e ramificações em alguns casos. As folhosas, de maneira geral, contêm maior teor de polioses que as coníferas, e a composição é diferenciada (KLOCK et al., 2005).

2.1.4 Lignina

A lignina é uma macromolécula fenólica, heterogênea, de estrutura complexa, tridimensional, com elevada concentração de carbono, presente em todos os vegetais, ocupando assim a posição de segunda macromolécula orgânica mais abundante da natureza (BRAUM, 2005; LUO et al., 2010).

É um polímero de natureza aromática, com alto peso molecular, que tem como base estrutural unidades de fenil-propano ligadas a grupos metoxílicos e hidroxílicos, dependendo do tipo de madeira (TRUGILHO et al., 1996).

Pettersen (1984) afirma que a lignina se apresenta como o componente mais hidrofóbico da madeira, tendo como uma de suas funções atuar como material cimentante ou adesivo entre as fibras além de conferir dureza e rigidez à parede celular.

2.1.5 Extrativos

De acordo com Barrichelo e Brito (1985), os extrativos são componentes que ocorrem na madeira de forma acidental e que não compõem a estrutura química da parede celular. Possuem um alto número de compostos, no qual a maior parte é solúvel em água quente, benzeno, álcool e diversos outros solventes orgânicos neutros. Os extrativos possuem baixo ou médio peso molecular, com poucas exceções, como é o caso dos taninos.

Pettersen (1984) afirma que a presença de extrativos contribuem na resistência ao ataque de insetos e fungos, na composição da cor das madeiras, no cheiro, na permeabilidade, na densidade e na dureza da madeira. De acordo com o autor, os extrativos podem constituir até 8% do peso seco de madeiras normais de espécies de clima temperado, e podem chegar a até 20% em madeiras de espécies de clima tropical.

Os extrativos que conferem durabilidade à madeira são normalmente formados durante a transformação do alburno em cerne, sendo de caráter fenólico e polifenólico, que se acumulam nos lumens e paredes das células, resultando, na maioria das vezes, numa coloração escura do cerne (da SILVA OLIVEIRA et al., 2005).

A quantidade e a qualidade dos extrativos são bastante variáveis de espécie para espécie. As variações nos teores dessas substâncias são evidentes entre indivíduos dentro de uma mesma espécie, variando do cerne mais interno para o recém-formado, sendo mais efetivo neste último. Também, quanto aos tipos de solventes, os quais solubilizam os extrativos de caráter fungicida e inseticida nas madeiras de elevada durabilidade natural, são amplamente variáveis e dependentes das espécies (da SILVA OLIVEIRA et al., 2005).

2.1.6 Propriedades organolépticas

As propriedades que impressionam os órgãos sensitivos são ditas propriedades organolépticas, que são identificadas e caracterizadas através da observação macroscópica da madeira aos quais se resumem em cheiro, sabor, grã, brilho, desenho, textura e cor (MORESCHI, 2010; ZENID, 2007).

Trianoski (2012) afirma que as propriedades organolépticas exercem grande influência sobre a qualidade da madeira, sendo em algumas espécies fator de decisão para determinar usos.

Moreschi (2010) cita que o cheiro natural da madeira pode ser agradável ou desagradável, espécies que apresentam aroma agradável acabam sendo exploradas comercialmente para produção de artigos de perfumaria, enquanto que as que possuem odor desagradável acabam tendo a sua utilização limitada para este fim. Há também aquelas espécies inodoras que se qualificam para inúmeras finalidades, em especial na produção de embalagens para chás e produtos alimentícios. O autor cita exemplo do Cedro-rosa (*Santalum album*), que devido ao seu odor agradável é usado como incenso no Oriente.

O cheiro e o gosto da madeira estão intimamente ligados, caracterizam-se por possuírem as mesmas substâncias como origem e tornam-se fatores que limitam a madeira para fins de utilização como embalagens alimentícias, brinquedos e móveis infantis. A caracterização da madeira utilizando estas características entrou em desuso devido a possibilidade de reações alérgicas ou de intoxicação ao se tentar determinar o gosto da madeira (BURGER e RICHTER, 1991; MORESCHI 2010).

A grã da madeira também é uma característica organoléptica e refere-se à orientação geral dos elementos verticais constituintes do lenho, em relação ao eixo da árvore ou de uma peça de madeira. A orientação é decorrente das mais diversas influências que a árvore é submetida durante o seu processo de crescimento, ocasionando grande variação natural no arranjo e na direção dos tecidos axiais, originando vários tipos de grã, como exemplo; grã direita, grã espiralada, irregular, entrecruzada, ondulada, inclinada, entre outros (MORESCHI, 2010).

O brilho é a capacidade de um material refletir luz e é um fator importante que se relaciona diretamente com o aspecto estético da madeira, podendo até mesmo ser potencializado de modo artificial por polimentos e produtos de acabamentos superficiais (TSOUMIS, 1991; BURGER e RICHER, 1991).

Como a madeira é um material heterogêneo, o brilho em suas três faces anatômicas é distinto, e na face radial é que se encontra o brilho mais reluzente, devido a efeitos de faixas horizontais do tecido que forma os raios da madeira (MORESCHI, 2010).

O termo desenho é usado para a descrição da aparência natural das faces da madeira, resultante das várias características macroscópicas (alburno, cerne, cor, grã) e, principalmente, dos anéis de crescimento e raios da madeira (MORESCHI, 2010).

De acordo com Zenid (2007), no decorrer do desenvolvimento da árvore, várias combinações de figuras e desenhos são criadas de maneira natural, devido ao tipo de corte adotado do desdobro.

2.1.7 Cor da madeira

A cor é uma das características mais importantes para a identificação e indicação de usos de espécies de madeira, principalmente quando associada aos aspectos de textura e desenho (CAMARGOS e GONÇALEZ, 2001).

Gonzalez (1993) afirma que vários fatores podem influenciar na cor da madeira como composição, anatomia, método de derrubada da árvore, posição da amostra na árvore, meio ambiente, altura, diâmetro e idade da árvore, além dos fatores genéticos inerentes a cada espécie.

Segundo Mady (2000), a cor da madeira é resultante da composição química das substâncias presentes no xilema: taninos, fenóis flavonoides, estilbenos, quinonas e outros. Tais substâncias conferem cores diferenciadas ao lenho. Entretanto, a cor não é estável em uma madeira, pois ela tende a sofrer alteração com o passar do tempo, escurecendo por oxidação causada principalmente pela luz, que reage com os componentes químicos da madeira.

A mudança da coloração da madeira é resultado da quantidade de extrativos presentes na parede celular, que faz com que ela, quando exposta à luz, ao ar e/ou ao calor ao longo do tempo, sofra escurecimento ou clareamento (CHEN et al., 2012; CADEMARTORI et al., 2014; CONTE et al., 2014).

Gonzalez et al. (2006) afirmam que a cor vem sendo considerada também como um indicador de qualidade da madeira já que é uma característica tão importante quanto as propriedades físicas e mecânicas. O consumidor ao comprar produtos madeireiros privilegia não somente quesitos como preço e qualidade, mas também a aparência do objeto e seu design, evidenciando assim a importância da cor no momento da escolha de um determinado produto. Há situações em que o comprador é especialmente atraído pela cor, que pode ser limitante na decisão da compra.

Camargos (1999) diz que o padrão de coloração de uma madeira pode variar em tonalidades que podem ir desde o bege claro até o marrom escuro, quase preto. Dentro dessa variação existem madeiras amareladas, avermelhadas, arroxeadas e alaranjadas.

2.1.8 Textura da madeira

A textura ou rugosidade da madeira está relacionada a dimensão e organização dos elementos celulares que compõem a madeira (ZENID, 2007).

Moreschi (2010) afirma que o termo textura refere-se ao efeito produzido na madeira pelas dimensões, distribuição e porcentagem dos diversos elementos estruturais constituintes do lenho, no seu conjunto. O autor classifica os tipos de textura de acordo com o grau de uniformidade pela madeira e apresenta da seguinte forma:

Textura grossa ou grosseira: Apresentada em madeiras com poros grandes e visíveis a olho nu, parênquima axial abundante ou raios lenhosos largos.

Textura fina: Apresentada em madeiras com vasos de dimensões muito pequenas que se encontram distribuídos principalmente na forma difusa no lenho, parênquima escasso e tecido fibroso abundante, conferindo à madeira uma superfície homogênea e uniforme.

Textura média: Situação intermediária entre a textura grossa e a textura fina.

De acordo com Sadoh e Nakato (1987), mesmo sendo lixada ou aplainada, a superfície da madeira não se torna totalmente lisa, devido as cavidades celulares presentes em sua superfície. Por isso a percepção tátil do ser humano é estimulada pela rugosidade ocasionada por detalhes morfológicos superficiais da madeira. A superfície desempenha um importante papel na utilização final da madeira, em particular quando é utilizada como ornamento de interiores, móveis, pisos e ferramentas.

2.2 ESPÉCIES EM ESTUDO

2.2.1 *Simarouba amara* Aubl. (Marupá)

De acordo com Loureiro (1979) a *Simarouba amara* Aubl., conhecida popularmente como marupá, ocorre nas Índias Ocidentais, na Amazônia e nos Estados da Bahia, Ceará e Pernambuco. A espécie habita frequentemente mata de várzeas, ocorrendo ocasionalmente em capoeiras e savanas de solo arenoso. De acordo com o IPT (2011) a espécie ocorre na América central, Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname e Venezuela.

O marupá é uma espécie pertencente à família Simaroubaceae, conhecido também como: caxeta, caxeta-branca marupá-verdadeiro, marupaí, matabarata, entre outros nomes. A madeira de marupá é macia e leve, com densidade básica baixa, de 0,39 g/cm³. O cerne dessa espécie é branco amarelado, não se distinguindo do alburno. Suas camadas de crescimento são pouco distintas, textura média, grã direita, brilho fraco e sem cheiro. A secagem do marupá é rápida e não apresenta defeitos. Na lixa, broca de serra e plaina, possui excelente acabamento superficial, porém com acabamento ruim no torno (MELO e CAMARGOS, 2002).

De acordo com o IPT (2011) a madeira de marupá é descrita como esbranquiçada e levemente amarelada, de brilho moderado, cheiro imperceptível e gosto levemente amargo.

Densidade baixa, macia ao corte, grã direita, textura média a grossa e superfície lustrosa. É considerada fácil de ser trabalhada e colada, e para torneá-la é preciso utilizar velocidade alta e facas afiadas.

É uma espécie utilizada na confecção de móveis, molduras, obras internas, instrumentos musicais, esquadrias, cabos de vassouras, palitos de fósforo, compensados, laminados, tamancos entre outros (SOUZA et al., 1997). É uma madeira fácil de serrar, pregar e parafusar, aplainar, recebendo um bom acabamento (CAVALCANTE, 2006).

Slooten e Souza (1993) comentam que a madeira de marupá pode ser utilizada como tampo de instrumento de corda, por possuir propriedades como a densidade, o módulo de elasticidade, o decaimento logarítmico e a frequência de vibração são semelhantes àquelas da madeira de *Picea abies* (spruce), tradicionalmente usada. Neste sentido Marques et al. (2006) corroboram, alegando que a madeira de marupá é usada nos Estados Unidos para tubos de órgãos e teclas de piano.

Em tese sobre a madeira de marupá para tampo de violão Portela (2014) encontrou resultados promissores, destacando a espécie como de grande potencial para ser uma alternativa aos materiais de referência na construção de instrumentos musicais de qualidade.



Figura 1. Face tangencial (à esquerda) e radial da madeira de marupá (IPT, 2011).

2.2.2 *Manilkara bidentata* (Maçaranduba)

De acordo com Ferraz et al., (2004), a maçaranduba (*Manilkara bidentata*) é uma espécie pertencente à família Sapotaceae. Os indivíduos dessa espécie podem chegar a medir

até 50 metros de altura, com tronco ereto e cilíndrico. A madeira de maçaranduba é dura e resistente, com densidade básica variando entre 0,9 e 1,04 g/cm³ a 13% de umidade. Não apresenta odor ou gosto característico e tem o cerne de coloração marrom-escuro distinta do alburno marrom amarelado claro, com granulação lisa, textura fina e brilho moderado.

De acordo com o IPT (2011) o cerne da maçaranduba é vermelho-claro, tornando-se vermelho-escuro com o tempo; o seu cheiro e gosto são imperceptíveis, apresenta alta densidade, é dura ao corte, grã direita e textura fina. É uma madeira resistente ao ataque de fungos apodrecedores e cupins subterrâneos, com resistência moderada aos cupins de madeira seca e baixa resistência aos xilófagos marinhos. É moderadamente difícil de cortar e aplainar, porém é fácil de torneiar e colar. Tende a rachar se pregada ou parafusada sem furação prévia. Recebe bom acabamento, pintura e verniz.

De acordo com Nahuz et al. (2013) nas regiões do centro oeste, sudeste e sul do Brasil a madeira de *Manilkara* sp. é uma das mais empregadas em estruturas de madeira. Souza et al. (1997) cita que a madeira de maçaranduba é usada na construção civil e naval, em cais para embarcações, torneados, chapas, instrumentos musicais, assoalhos, carrocerias de caminhões e outros.



Figura 2.Face tangencial (à esquerda) e radial da madeira de maçaranduba (IPT, 2011).

2.2.3 Cedrela fissilis (Cedro)

O cedro (*Cedrela fissilis*) pertence à família Meliaceae, é uma espécie nativa que ocorre desde o Rio Grande do Sul até Minas Gerais. Sua madeira é largamente empregada no setor moveleiro e construção civil (DA SILVEIRA et al., 2014).

De acordo com Gartland et al. (1996) a *Cedrela fissilis*, conhecida popularmente como cedro-rosa, é uma espécie com grande amplitude ecológica, ocorrendo na Costa Rica, Panamá, Bolívia, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru, Uruguai, Venezuela, sul do Brasil e nordeste da Argentina.

De acordo com o IPT (2011) o cedro tem cerne e albúrneo distintos pela cor, com cerne bege rosado. A superfície da madeira é lustrosa, cheiro perceptível, agradável e característico, e gosto ligeiramente amargo. A densidade básica da madeira é baixa (0,44 g/cm³), grã direita, textura média a grossa.

Souza et al., (2014) descrevem a madeira como de uso muito generalizado, sendo comum na construção civil (carpintaria, marcenaria, esquadria, forros, molduras e caixilhos), na construção naval e aeronáutica, compensados, caixa de charutos, móveis, instrumentos musicais, tonéis para cachaça e outros.

Angelo et al. (2001) comentam que a madeira de cedro possui ótimas propriedades, como a sua alta durabilidade quanto exposta ao tempo e facilidade em se trabalhar, de forma a torná-la de grande importância econômica, sendo muito utilizada na indústria madeireira, ocupando o quarto lugar dentre as espécies brasileiras madeireiras mais exportadas.



Figura 3.Face tangencial (à esquerda) e radial da madeira de cedro (IPT, 2011).

2.2.4 *Tabebuia* spp. (Ipê)

O ipê (*Tabebuia* spp.) é pertencente à família Bignoniaceae e caracteriza-se pelo cerne oliva-amarronzado-escuro ou oliva-escuro, geralmente uniforme, com densidade básica em torno de 1,05g/cm³, considerada pesada, com seus vasos obstruídos por ipeína (substância de cor amarela-esverdeada) (SOUZA et al, 2014). As espécies do gênero recebem nomes vulgares típicos em suas regiões de ocorrência, como pau-d'arco, da Amazônia até o sul da Bahia; ipê, ipê-amarelo e ipê-roxo, nas regiões Sul e Sudeste; e piúna, piúna-amarela e piúna-roxa, em Mato Grosso e Goiás (IPT, 2011).

As espécies do gênero *Tabebuia* possuem madeira pesada e durável, o que possibilita sua utilização em construções pesadas e estruturas externas. Em ausência de folhagem apresenta maciças florações, o que lhe atribui apreciadas características ornamentais (RIZZINI, 1971). De acordo com Carvalho (1994) o gênero ocorre na Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname, Venezuela e no Brasil, onde se encontra em quase todos os estados.

De acordo com Souza et al. (2014) as madeiras do gênero *Tabebuia* são empregadas em construções internas, instrumentos musicais, portas, molduras de janelas e outros. Quanto à trabalhabilidade são regulares para aplainar, boas para lixar e excelentes para torneiar e furar e possuem bom acabamento.

De acordo com Schneider et al. (2000) as espécies de *Tabebuia* spp. apresentam uma madeira de excelente qualidade, maleável, resistente, com massa específica aparente de 0,92 a 1,08 g/cm³ a 15% de umidade, massa específica básica de 0,79g/cm³, cerne de coloração marrom e alburno pardo-acastanhado, sendo considerada de lei ou de qualidade e utilizada para várias finalidades nobres, móveis e aberturas.

O IPT (2011) caracteriza o cerne e o alburno do gênero distintos pela cor, sendo o cerne pardo ou castanho com reflexos amarelados ou esverdeados e o alburno branco-amarelado; superfície sem brilho; cheiro e gosto imperceptíveis; densidade alta; dura ao corte; grã irregular a reversa; textura fina. É uma madeira moderadamente difícil de trabalhar, principalmente com ferramentas manuais que perdem rapidamente a afiação. Recebe bom acabamento e tem relatos de problemas de colagem. O aplainamento é regular, é fácil de lixar e excelente para pregar e parafusar.



Figura 4.Face tangencial (à esquerda) e radial da madeira de ipê (IPT, 2011).

2.2.5 *Cariniana micrantha* Ducke (Jequitibá)

O jequitibá (*Cariniana micrantha* Ducke) é uma espécie pertencente a família Lecythidaceae e têm como características o cerne marrom-avermelhado-claro, pouco distinto do alburno de cor rosa, com madeira de densidade média de $0,58\text{g/cm}^3$, é muito utilizada na marcenaria, construção em geral, caixas, canoas, cabos e ferramentas (SOUZA et al., 2014).

De acordo com o INPA (2007) a *Cariniana micrantha* é uma espécie arbórea, com altura de até 50 metros, com ampla distribuição na Amazônia brasileira. A madeira é o principal produto da espécie, com densidade básica de $0,58\text{ g/cm}^3$, grã direita, textura média e resistência ao corte manual. Em geral, é comercializada para carpintaria e marcenaria, com grande demanda no mercado interno e externo.

A espécie *Cariniana Micrantha* é conhecida popularmente como Jequitibá, Castanha-de-macaco, Matamatá-vermelho, Tauari vermelho entre outros, é uma espécie madeireira nativa da flora brasileira. Sua madeira possui cerne e alburno poucos distintos, com grã direita e textura média, sendo uma espécie com boa trabalhabilidade (IPT, 2011).

De acordo com Nahuz et al. (2013) o cerne e o alburno do jequitibá são pouco distintos, sendo o cerne vermelho acastanhado; brilho moderado; cheiro e gosto imperceptíveis; densidade média; macia ao corte; grã direita; textura média. É uma madeira que apresenta comportamento excelente quanto ao acabamento superficial, aceitando prego, exceto nos cantos. Pode ser usada na construção civil leve externa, em caibros, caixilhos,

guarnições, ripas e sarrafos, na leve interna estrutural, em tábuas, pontaletes, ripas e caibros. Também é comumente usada em embarcações (quilhas, convés, costados e cavernas), miolos de chapas compensadas, miolo de portas, cabos de ferramentas, cutelaria e embalagens (caixas, caixotes e paletes).

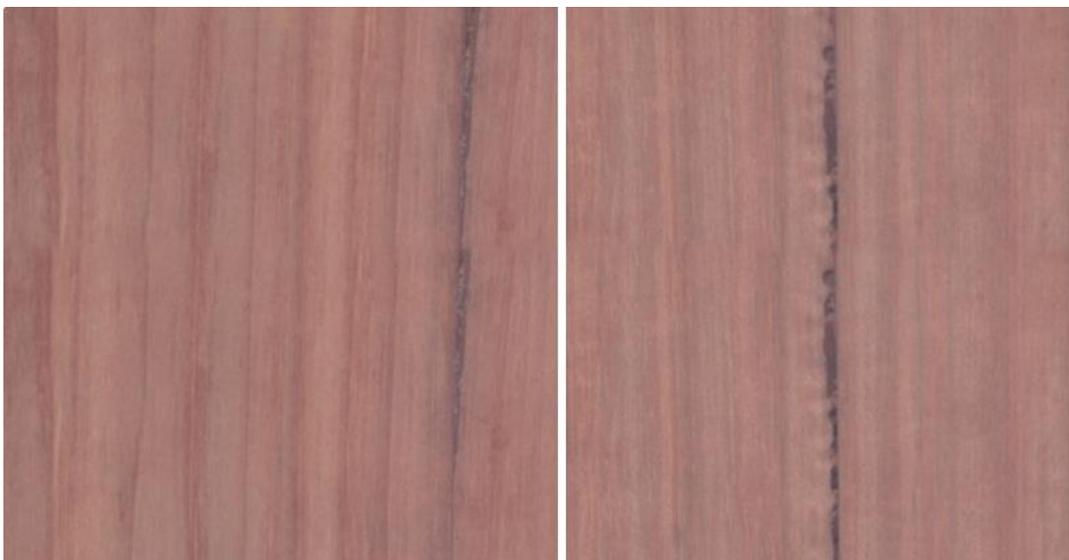


Figura 5.Face tangencial (à esquerda) e radial da madeira de jequitibá (NAHUZ et al., 2011).

2.3 INTEMPERISMO NA MADEIRA

Segundo Williams (2005), o intemperismo é o termo geral utilizado para definir a lenta degradação de materiais quando expostos ao tempo. De acordo com o mesmo autor, quando submetida ao intemperismo, a madeira sofre alterações que são observados inicialmente pela variação de sua cor natural, podendo até chegar a afetar suas propriedades físicas e mecânicas.

Hon (2001) afirma que o intemperismo é uma combinação complexa da ação solar, da chuva ou umidade e dos ventos que ocorrem até 2,5mm abaixo da superfície externa da madeira. Desses fatores, o processo de decomposição em consequência da radiação ultravioleta (UV) presente na luz solar é o mais prejudicial pois inicia modificações químicas dos principais polímeros que a constituem, como o caso da celulose, hemicelulose e da lignina.

A madeira sujeita ao processo de intemperismo, em curto período de tempo, apresenta alteração da cor, posteriormente, a superfície torna-se áspera, provocada pela

degradação causada pela água da chuva, que remove os polímeros decompostos e deteriora a microestrutura (DANIEL et al., 2004).

Os ciclos alternados de umedecimento e/ou congelamento/descongelamento podem causar delaminação e formação de rachaduras que facilitam a criação de micro-habitats favoráveis a fungos que decompõem madeira e reduzem as funções estéticas e estruturais da madeira (PETRILLO, 2019).

ZLATHIC E HUMAR (2016) afirmaram que o intemperismo cria uma situação favorável para a colonização biótica, iniciando assim uma decomposição enzimática na madeira, e, nesse sentido, concluíram, por exemplo, o intemperismo natural mostrou uma significativa redução na hidrorrepelência da madeira, resultando em um rápido aumento de absorção de água com o envelhecimento da madeira.

Estudos envolvendo intemperismo mostram que modificações químicas da matriz da madeira ocorrem após pouco tempo de exposição à luz ultravioleta (UV) e água, reveladas através de mudanças de cores na madeira intemperizada (WILLIAMS, 2005).

2.3.1 Fotodegradação na madeira

Entre os fatores do intemperismo que afetam a madeira, o processo de deterioração devido à radiação ultravioleta (UV) presente na luz do sol é o mais prejudicial, por desencadear as modificações químicas dos principais polímeros que constituem a madeira: a celulose, a lignina e a hemicelulose (FEIST; HON, 1984).

A radiação ultravioleta – UV (30 – 400 nm) do espectro solar é o fator considerado mais prejudicial, pois desencadeia reações de decomposição química da celulose, lignina e hemiceluloses (FEIST e HON, 1984).

A combinação de oxigênio e radiação solar induz rapidamente a oxidação de lignina e hemicelulose e despolimerização da celulose. Muitos dos produtos da reação são solúveis em água, sendo facilmente removido da superfície da madeira pela chuva, levando a uma perda de material tornando a superfície áspera e descolorida (XIE et al, 2005; GEORGE et al., 2005).

De acordo com Pastore (2004), o mecanismo geral de fotodegradação da superfície das madeiras é dividido em dois processos distintos. O primeiro processo se refere a degradação da celulose e hemicelulose em conjunto, por serem quimicamente parecidas e o

segundo, diz respeito a degradação da lignina. A presença de energia com comprimentos de onda maiores que 340 nm na celulose, juntamente com o oxigênio, provocam formação de radicais alcoxi e carbônicos, quando comprimentos de ondas são superiores a 280nm, ocorre a desidrogenação, e quando superiores a 254 nm ocorre o rompimento da cadeia lateral da celulose. Em geral os radicais alcoxi são estáveis, comparados com os radicais carbônicos que na presença de oxigênio sofrem reações sendo transformados em radicais hidroperóxidos.

2.3.2 Intemperismo artificial acelerado

Estudos visando esclarecer mecanismos de intemperismo geralmente envolvem experimentos de laboratório (CHEDGY et al., 2007; DEFLORIAN et al., 2007; EVANS e BANKS, 1990; EVANS et al., 1996; KATAOKA e KIGUCHI, 2001; PANDEY e PITMAN, 2003; PODGORSKI et al., 1996).

Segundo Oliveira et al. (1986), para reduzir o período de duração e os custos dos testes em campo, para a avaliação, foram desenvolvidos ensaios de laboratório que simulam o intemperismo e permitem comparar a durabilidade natural das madeiras de diversas espécies.

As condições ambientais e de intemperismo têm sido simuladas por meio de testes que utilizam câmaras de ensaio de envelhecimento acelerado trabalhando com o controle da atmosfera, monitorando a exposição aos raios UV- por meio de reatores fotoquímicos, lâmpadas de luz ultravioleta – umidade e temperatura mediante ciclos de exposições (GONÇALEZ et al., 2010).

2.3.3 Efeitos do intemperismo nas propriedades da madeira

Segundo Souza et al. (2009), ao se utilizar a madeira em ambientes externos, esta deve atender a exigências mínimas de qualidade em função de sua utilização, pois estará vulnerável a fatores que podem ocasionar perdas nas propriedades físicas, mecânicas e estética do material.

Ao expor a madeira à radiação solar ocorre uma forte degradação química superficial que provoca mudança na cor da madeira e um posterior enfraquecimento da sua resistência mecânica (DERBYSHIRE e MILLER, 1981; BEATRICE et al., 2005). No início do

processo de intemperismo, ocorre somente uma variação na cor da superfície, no entanto, com o passar do tempo e dependendo da madeira utilizada, as propriedades mecânicas também podem ficar comprometidas (OWEN et al., 1993).

Já é conhecido na literatura que a lignina é fortemente degradada durante a fotodegradação. Sua despolimerização leva à produção de compostos que podem facilitar a degradação da madeira por outros fatores (COGULET et al., 2016; EVANS et al., 1996; LEARY, 1968; MCNALLY et al., 2005; GORGE et al., 2005). Devido a degradação da madeira, tornando-a menos hidrofóbica, pode ocorrer a entrada de água e fungos nas fissuras das madeiras que podem causar apodrecimento (EATON e HALE,1993; XIE et al.,2005).

O efeito visível da degradação de lignina a curto prazo de exposição é evidenciado pelo amarelamento da madeira (MULLER et al., 2003), isto é causado pela formação de grupos cromóforos de origem secundária.

Quando os grupos cromóforos lixiviam da madeira, a sua cor muda drasticamente até que converta para tons de cinza (PETRILLO, 2019).

A radiação ultravioleta (UV) pode causar diminuição da temperatura de amolecimento para a lignina, é dada pela variação dimensional de um material sob o efeito da temperatura (GARCIA et al., 2000). De fato, um dos principais efeitos do intemperismo é a degradação da lignina por radiação UV (EVANS et al., 1992), visto que este é o composto mais sensível da madeira em relação aos raios uv (COGULET et al., 2016; SANDAK, 2016).

2.4 PRODUTOS DE ACABAMENTO SUPERFICIAL PARA MADEIRA

O principal método empregado para proteção da madeira contra diversos fatores, como os atmosféricos e a fotodegradação, é o uso de revestimentos tais como; absorventes de UV e/ou antioxidantes, vernizes, stains, acabamentos orgânicos e hidrorrepelentes (EVANS et al., 2005; PACE et al., 2018).

Devido a madeira ser um importante material de construção, e, ser susceptível ao intemperismo, é admitido um setor industrial exclusivamente voltado para desenvolver produtos de acabamento para a proteção e manutenção do seu aspecto original (PASTORE, 2004).

É importante ressaltar que, além de agregação de valor, os acabamentos superficiais proporcionam melhoria estética da madeira usinada e maior durabilidade de produtos madeireiros (PACE et al., 2018).

O revestimento do produto de acabamento deve formar uma película, ser duro e elástico, estando perfeitamente aderido ao substrato, ser inerte à ação do ambiente e resistente a fatores físicos e químicos (SENAI, 1995).

Outra característica importante em acabamentos superficiais está relacionada à sua cor, sendo um quesito primordial antes da escolha do produto com utilização destinada a madeira (PACE et al., 2018).

O tipo de acabamento e o processo definido para seu uso tem sido complementar com o intuito de destacar a qualidade do produto final, pois os fatores que influenciam o acabamento estão relacionados com a superfície ancoradora, as condições ambientais da aplicação e o próprio método de aplicação (SOUZA et al., 2009).

Feist e Hon (1984) afirmam que apesar da ação do intemperismo limitar-se à superfície da madeira, estabelece um problema para os consumidores e para os tecnólogos, pois afeta a eficácia dos produtos aplicados sobre ela. Por exemplo, as resinas que contêm compostos absorvedores de UV possuem tempo de vida limitado, exigem manutenção frequente, o que inclui a sua remoção total e preparação de nova superfície.

Os produtos semitransparentes não impedem que a radiação atinja a superfície da madeira, degradando-a antes mesmo do revestimento e reduzindo o grau de adesão entre o produto e substrato (PANDEY e PITMAN, 2003; SILVA e PASTORE, 2004).

A penetração de raios UV através de uma camada de revestimento transparente alcançam a madeira abaixo, causando a fotodegradação pela degradação da lignina. Os produtos da degradação da lignina por sua vez são fonte de alimento de fungos da mancha negra, tornando-se disponíveis abaixo do revestimento da madeira (COGULET et al., 2018).

2.5 ANÁLISES NÃO DESTRUTIVAS DA MADEIRA

A degradação superficial dos constituintes da madeira (lignina, celulose e hemicelulose) desencadeado pela irradiação natural ou artificial resulta em alteração de cor da mesma, ou produtos a base desta. A análise das propriedades colorimétricas dos materiais, complementares às análises de propriedades físicas e mecânicas, podem fornecer indicativos

úteis para a compreensão do processo de degradação e seus efeitos nos produtos (PEREIRA, et al., 2017).

2.5.1 Colorimetria

A colorimetria é a ciência que estuda a medição da cor, sendo largamente empregada na indústria, no comércio e em laboratórios de desenvolvimento para expressar a cor em termos numéricos e para medir as variações de cor entre amostras de determinado produto. As aplicações dessa ciência incluem plásticos, tintas, gráficas, vestuário, alimentos, fármacos e cosméticos e outros produtos e peças que refletem ou transmitem cor (KONICA MINOLTA, 2014).

A colorimetria descreve cada elemento da composição de uma cor numericamente por meio de aparelhos apropriados (espectrofotômetros ou colorímetros). Este método de cor é amplamente utilizado em diferentes sistemas de produção fabril, como por exemplo, indústrias têxteis, químicas e plásticas (MORI et al, 2005).

De acordo com Pedrosa (1989) apud Camargos e Gonzalez (2001), o aparecimento da cor está condicionado à existência de dois elementos: a luz e a visão. Usa-se o termo matiz para designar o estímulo e cor para a sensação. A palavra cor designa tanto a percepção do fenômeno (sensação) como também as radiações luminosas, diretas ou refletidas pelos corpos (matiz ou coloração) que o provocam.

Ao passar a luz solar por um prisma é criada uma distribuição de cor semelhante ao que ocorre em um arco-íris e essa distribuição é conhecida como espectro. A razão pela qual podemos ver esse espectro é porque esse comprimento específico estimula a retina do olho humano. O espectro está ordenado em: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul e violeta, de acordo com os diferentes comprimentos de onda de luz (Figura 2.2). A região da luz com os comprimentos de onda mais longos é vista como vermelha, e a região da luz com os comprimentos de onda mais curtos é vista como violeta (KONICA MINOLTA, 1998).

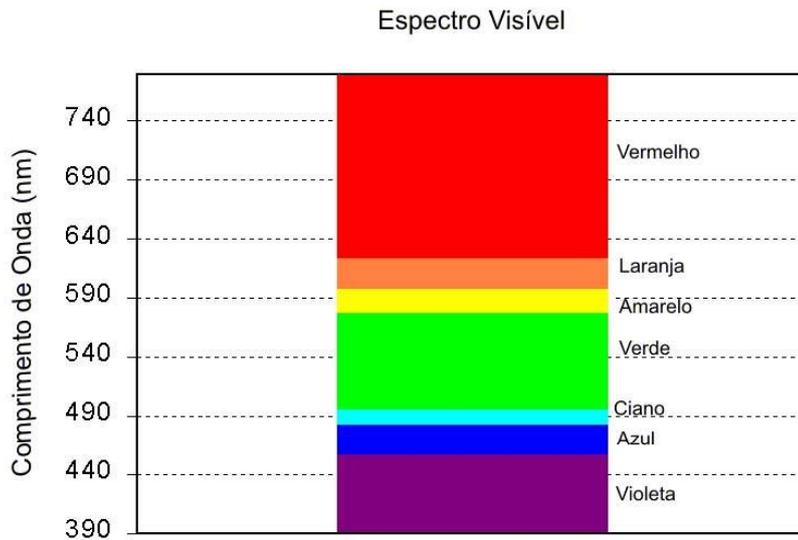


Figura 6. Espectro Visível (Fonte: Gouveia, 2008).

Vários estudiosos desenvolveram métodos utilizando fórmulas complexas para quantificar as cores e expressá-las numericamente, objetivando tornar a comunicação mais fácil e mais precisa. Esses métodos visavam proporcionar uma forma numérica de expressar as cores, da mesma forma que nos expressamos em termos de comprimentos e pesos (KONICA MINOLTA, 1998).

Gonçalez (1993) afirma que a análise final da cor de qualquer produto lhe garante um padrão de qualidade de mercado, exigido mundialmente. Ela é um dos componentes da estética, que se associa à superfície e ao desenho de uma peça de madeira. Por esta razão, esta propriedade deve ser incorporada ao planejamento visando a caracterização tecnológica da madeira, para atender aos mais nobres usos desse material. O autor afirma que dada a variedade de formas de descrever a cor com precisão, é que se criou um método capaz de discernir cientificamente e de modo preciso, o sistema CIELAB 1976. Um método básico no qual as cores são expressas de forma precisa e compreendidas e que é cada vez mais frequente, sendo utilizada para classificar e caracterizar a madeira e os derivados.

Para a obtenção da cor são utilizados espectrofotômetros ou colorímetros, equipamentos que reduzem as variações de iluminação do dia e têm a mesma sensibilidade da visão humana, registrando pequenas diferenças entre as cores (Camargos e Gonçalez, 2001).

A colorimetria descreve cada elemento da composição de uma cor numericamente por meio de aparelhos apropriados (espectrofotômetros ou colorímetros). Este método de cor

é amplamente utilizado em diferentes sistemas de produção fabril, como por exemplo, indústrias têxteis, químicas e plásticas (MORI et al, 2005).

O sistema CIE-L*a*b*, tem como base a norma CIE «Commission Internationale de L'Éclairage» 1976 e é caracterizado por três diferentes parâmetros (L^* , a^* e b^*) em um espaço de cor tridimensional como ilustrado na Figura 2 (KONICA MINOLTA, 1998).

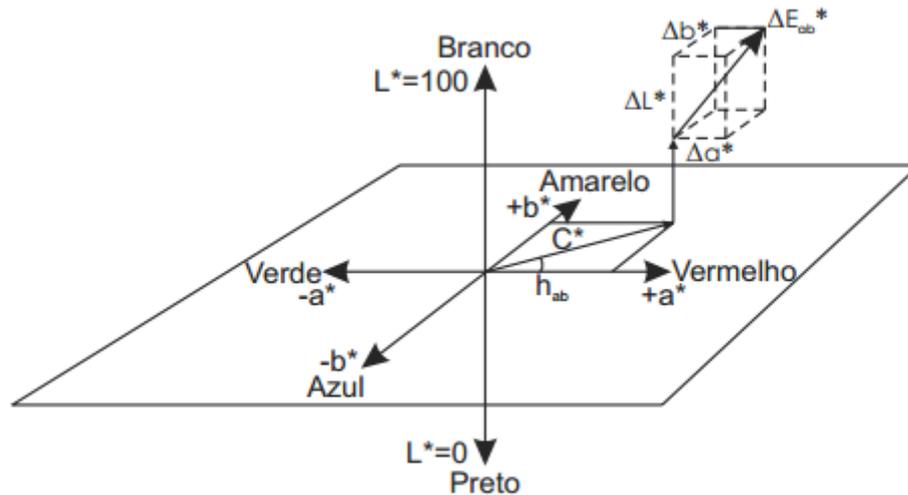


Figura 7. Espaço de cor tridimensional do sistema CIE-L*a*b*1976. (In. KONICA MINOLTA, 1998)

A variável L^* representa a luminosidade ou claridade, a qual varia de zero (preto) à 100 (branco) enquanto que, a^* e b^* representam as coordenadas cromáticas, ambas variando entre -60 e +60, o ângulo constituído pela reta C^* e pelo eixo a^* é chamado de h^* , correspondente ao ângulo de tinta, a variável C mostra o valor da saturação ou cromacidade da cor. No diagrama de cromaticidade CIE-L*a*b*, os sinais positivos e negativos significam: $+a^*$ aumento na cor vermelha, $-a^*$ aumento na cor verde, $+b^*$ aumento na amarela e $-b^*$ aumento na cor azul, representando a tonalidade, como mostrado na Figura 2.3 (KONICA MINOLTA, 1998).

2.5.2 Espectroscopia no infravermelho médio

A espectroscopia no infravermelho é o estudo da interação de radiação eletromagnética (ou fótons) com a matéria, ou melhor, ela detecta radiação absorvida por ligações vibracionais moleculares. Tal radiação eletromagnética se distribui em várias regiões de energia, sendo eles: região do infravermelho, visível e ultravioleta. Dentre tais regiões, o olho humano consegue perceber apenas uma pequena faixa de frequências: que é a região visível do espectro eletromagnético (MILAGRES, 2009).

De acordo com Coates (1999), a espectroscopia no infravermelho teve suas primeiras aplicações no monitoramento da qualidade e controle de processos no setor petroquímico durante a segunda guerra mundial para análises de combustíveis, polímeros e lubrificantes.

Naes et al., (2002) atribuí a descoberta da espectroscopia de infravermelho a Frederick Willian Herschel em 1800. Ao estudar o calor que passava através de filtros coloridos por ele utilizados para observar o sol, percebeu que quantidades de calor transmitidas eram diferentes de acordo com as cores. Então analisou o espectro solar medindo a temperatura em relação a cada cor, utilizando termômetros ao longo do espectro produzido por um prisma de vidro transparente à radiação, que decompôs a luz solar e verificou que as temperaturas subiam da zona de cor violeta para a zona de cor vermelha.

À partir dos anos 60 a espectroscopia no infravermelho próximo passou a ser utilizada para análises técnicas voltadas para produção agrícola e alimentícia (GODOY, 2010).

Técnicas de infravermelhos combinadas com ferramentas quimiométricas têm sido utilizadas para análises quantitativas e qualitativas em diversos campos incluindo, solos, aplicações biomédicas, alimentos, indústrias farmacêuticas, entre outras (BURNS e CIUCZAK, 2007).

O primeiro espectro de ligninas foi publicado no ano de 1948. Porém, foi com o advento da transformada de Fourier que os métodos espectroscópicos se popularizaram e, hoje, encontram se incorporados nos procedimentos de rotina para investigar a composição química de madeiras e seus constituintes, sendo a técnica de reflectância difusa (DRIFT), bastante indicada para análise de superfícies da madeira (PASTORE, 2004).

Nuopponen (2006) afirma que tais métodos proporcionam informações acerca de estruturas moleculares de madeira sólida ou em pó e, em diversas situações, as amostras de madeira podem ser analisadas com pouco trabalho em sua preparação. Assim, torna-se

possível a obtenção de informações sobre as interações à nível molecular entre polímeros de madeira em estado inicial. Além disso, a espectroscopia no infravermelho é um método rápido e não destrutivo.

A região do espectro infravermelho possui o intervalo de comprimento em número de onda de 12800 cm^{-1} a 10 cm^{-1} dividida em três partes: A região do infravermelho próximo (NIR), em que o número de onda varia de 12800 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} ; médio (MIR) 4000 cm^{-1} a 200 cm^{-1} e distante 200 cm^{-1} a 10 cm^{-1} . (SKOOG et al., 2006).

Cada uma das regiões espectrais do infravermelho é utilizada para um determinado objetivo. No Infravermelho Distante e Médio estudam-se, respectivamente, os espectros de rotação das moléculas e os espectros de vibração molecular; e no infravermelho próximo estudam-se os harmônicos das vibrações moleculares (MILAGRES, 2009).

Segundo Pastore (2004), a espectroscopia DRIFT na faixa do infravermelho médio (MIR) é um método adequado para acompanhamento da fotodecomposição da superfície de madeiras, sendo possível sua utilização em experimentos de intemperismo.

Poucos são os estudos publicados com a avaliação de propriedades de madeiras sólidas por métodos espectroscópicos por espectroscopia MIR. A grande maioria dos estudos publicados são relacionados a espectroscopia NIR (NUOPPONEN, 2006).

2.5.3 Rugosidade superficial

Uma forma de avaliar a qualidade da superfície das madeiras de maneira mais precisa é por meio da medição da rugosidade (MARTINS et al., 2011).

Estudos da rugosidade da superfície como propriedade dos materiais iniciou antes de 1939 e estes foram aplicados inicialmente a indústria metal mecânica, enquanto os estudos sobre a rugosidade da madeira seguiram-se após 1950 (SORAGI, 2009).

A rugosidade é definida como o conjunto de desvios microgeométricos, caracterizado pelas pequenas saliências e entrâncias presentes em uma superfície (ABNT, 2002).

Estas irregularidades podem ser determinadas através da medição da altura, largura e forma dos picos e vales produzidos por operações de usinagem na madeira ou por suas características anatômicas (TELES et al., 2016).

De acordo com Soragi (2009) é de conhecimento que a mensuração da qualidade da superfície usinada da madeira e derivados necessita de análise mais rigorosa que aquela feita para metais. Os vasos, lumens das fibras e outras células, falhas na estrutura, trincas de compressão apresentam-se como elementos complicadores na análise e requerem medições de precisão (μm) com grande amplitude de escala.

Usualmente a qualificação da superfície usinada é feita através da norma ASTM D1666-87 (1985), a qual é subjetiva, ou por meio indireto através da determinação do avanço por dente (fz) (SILVA et al., 2008).

São vários os equipamentos disponíveis para a medição da rugosidade, e entre eles o método com agulha (haste) tem sido muito usado para determinar a rugosidade da superfície de madeira sólida e compósitos de madeira, apresentando resultados mais precisos (SILVA et al., 2006; VARANDA et al., 2010; BRAGA et al., 2010; SILVA et al., 2008; KILIC et al., 2006; BURDURLU et al., 2005; SULAIMAN et al., 2009). A principal vantagem desse método é a possibilidade de obter o real perfil da rugosidade da superfície e os parâmetros numéricos padrão, podendo ser calculados a partir do perfil.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ORIGEM E PREPARO DOS CORPOS DE PROVA

As madeiras de jequitibá e cedro utilizadas neste estudo foram obtidas no mercado madeireiro local (Brasília – DF) e as madeiras de Maçaranduba, Marupá e Ipê foram fornecidas pelo serviço florestal brasileiro (SFB). Essas espécies foram selecionadas por serem tradicionalmente indicadas para diversos usos, portanto, torna-se importante conhecer o comportamento dessas madeiras quando expostas ao intemperismo.

Um mínimo de 05 pranchas de cada espécie foi adquirido. Foi feita a identificação anatômica para confirmação das espécies em estudo. Foram confeccionados (120) corpos de prova de cada espécie, em que: 60 foram utilizados nos ensaios de intemperismo artificial acelerado e 60 em ensaios de intemperismo natural ao ar livre, com dimensões de 75x30x5mm (comprimento, largura e espessura, respectivamente), provenientes de tábuas de 1000x300x40mm (comprimento, largura e espessura, respectivamente) escolhidas ao acaso. Estas amostras foram confeccionadas, conforme Figura 8.



Figura 8. Amostras confeccionadas na marcenaria do serviço florestal Brasileiro.

Para cada corpo de prova, a superfície tangencial foi lixada com o objetivo de eliminar qualquer impureza superficial ou marcas ocasionadas pela ação das lâminas de serra e efeitos já provocados pelas radiações ultravioletas. Em seguida, as amostras foram colocadas em câmara climatizada ($20^{\circ}\text{C} \pm 2$ e $70\% \pm 2$ de umidade relativa) até atingirem massa constante e umidade de equilíbrio de 12%.

A face tangencial foi escolhida por tratar-se da face mais utilizada em setores de movelaria no qual se aplica o produto de acabamento.

A figura 9 apresenta exemplos dos corpos de prova processados, sem tratamento, no qual estão dispostos de acordo com o gradiente de cores, das mais escuras para as mais claras, das quais, a contar da esquerda para a direita são: ipê, maçaranduba, cedro, jequitibá e marupá, respectivamente.



Figura 9. Amostras confeccionadas de ipê, maçaranduba, cedro, jequitibá e marupá.

Foram realizados três tratamentos por espécie, sendo o primeiro tratamento a testemunha, em que não foi aplicado nenhum produto de acabamento, servindo de base comparativa para o experimento. O segundo tratamento consistiu na aplicação de verniz convencional (composto por: Resina alquídica, a base de óleo vegetal semi-secante, hidrocarbonetos alifáticos, secantes organometálicos e pigmentos inorgânicos.). O terceiro tratamento foi com aplicação de verniz marítimo (composto por: Resina alquídica modificada, aditivos, solventes aromáticos e alifáticos.), de acordo com orientações do fabricante, no qual é aplicado 4 demãos ao total. A confecção dos corpos de prova e a aplicação dos tratamentos foram realizadas no Laboratório de Produtos Florestais (LPF), do Serviço Florestal Brasileiro (SFB)/MMA/Brasília DF.

O ensaio de intemperismo artificial, análise de colorimetria e rugosidade foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília. O ensaio de intemperismo natural em ambiente externo e as análises de espectrometria no infravermelho médio e de microscopia de varredura (MEV) foram feitos no Laboratório de Produtos Florestais (LPF), do Serviço Florestal Brasileiro (SFB).

3.2 ENSAIO DE INTEMPERISMO ARTIFICIAL

Para este ensaio foi utilizada uma câmara de envelhecimento acelerado marca Q-lab modelo QUV/Spray (Figura 10) que simula os efeitos da degradação causada pelo intemperismo natural na superfície de madeira. O equipamento possui controle automático

de temperatura e umidade relativa utilizando lâmpadas fluorescentes UVA com irradiância de 1,36 W/m²/nm a 340 nm, conforme a norma ASTM G154 (ASTM, 2006).

Os ciclos de intemperismo (em horas) que foram utilizados nesta pesquisa acompanharam a seguinte ordem acumulativa: 0 (testemunha), 24, 48, 96, 200, 400 e 600 horas, totalizando 7 períodos.

Entre cada período de intemperismo artificial foram feitas na madeira as análises colorimétricas, rugosidade, espectroscopia do infravermelho médio.



Figura 10. Equipamento de envelhecimento acelerado QUV/Spray.

Na câmara as amostras foram acopladas em suportes metálicos ao qual deixou a face tangencial da madeira exposta a radiação e precipitação artificial (figura 11).



Figura 11. Esquema do ensaio de intemperismo em câmara de envelhecimento artificial.

Os parâmetros técnicos da programação utilizada no ensaio e as condições de exposição dos corpos de prova estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Programação utilizada no experimento de intemperismo artificial.

ASTM G154 CICLO 7				
Etapas	Função	Irradiância (W/m ²)	Temperatura (°C)	Tempo(h)
1	UV 340	1,55	60	08:00
2	Spray	n/a	n/a	00:15
3	Condensação	n/a	50	03:45
4	Ir para etapa 1			
Total				12:00

3.3 ENSAIO DE INTEMPERISMO NATURAL

O ensaio de intemperismo natural foi realizado no LPF do Serviço Florestal Brasileiro (SFB), coordenadas S 15°45'50'' e W 47° 51'41'' localizado em Brasília (DF).

As amostras foram montadas de forma aleatória em um suporte de madeiras e expostas ao ar-livre em uma bancada com um ângulo de inclinação de 45°, voltada para o sentido norte, de forma que a luz do sol incida perpendicularmente sobre a superfície tangencial das amostras, de acordo com a norma ASTM D1435 (ASTM, 1994), Figura 12.



Figura 12. Stand de intemperismo natural, segundo a norma ASTM D1435.

As amostras foram submetidas ao intemperismo natural por seis ciclos, entre maio a setembro de 2018, totalizando aproximadamente sete meses, divididos por períodos de acordo com a tabela 3.

Tabela 3. Descrição de cada período de intemperismo natural.

Ciclos	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Semanas	0	1	2	4	8	16
Dias	0	7	14	28	56	112
Horas	0	168	336	672	1344	2688

A tabela 4 descreve a organização dos ciclos para cada período de intemperismo natural, no qual foram divididos em 6 ciclos, T1, T2, T3, T4, T5, T6. Sendo que o ciclo T1 corresponde as amostras antes do processo de intemperismo, com 0 dias, T2 corresponde ao ensaio no período de 7 dias, T3 corresponde ao ensaio de 14 dias, T4 corresponde ao ensaio de 28 dias, T5 corresponde ao ensaio de 56 dias e T6 corresponde ao ensaio de 112 dias, totalizando 186 dias, correspondente a pouco mais de 6 meses.

Tabela 4. Organização dos ciclos de intemperismo natural.

Ciclo	Dias por ciclo	Dias Totais acumulados
T1	0	0
T2	7	7
T3	14	21
T4	28	49
T5	56	105
T6	112	217

Entre cada período de intemperismo natural foram feitas análises colorimétricas, rugosidade, espectroscopia do infravermelho médio e obtenção de imagens por microscopia de varredura.

As informações climatológicas foram fornecidas pela estação meteorológica automática “Brasília-A001” do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada em S 15°47’ e W 47,56’ (Figura 13), que disponibiliza diariamente informações sobre: precipitação (mm), radiação global (W/m²), temperatura média, máxima e mínima (°C), e umidade relativa do ar média, máxima e mínima (%).

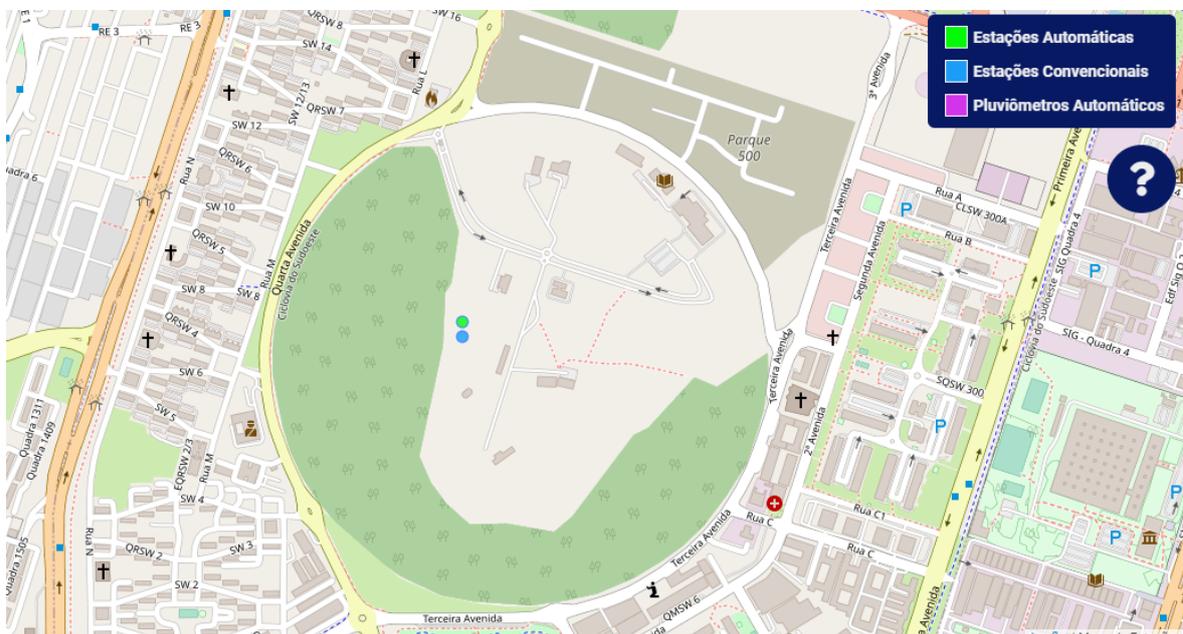


Figura 13. Localização da estação meteorológica automática Brasília-A001. Fonte: INMET

3.3.1. Caracterização do clima de Brasília.

O clima de Brasília é tropical (Aw), e pode ser definido em dois tipos; tropical de altitude Cwa e tropical de altitude Cwb (ALMEIDA,2017). O clima possui duas estações, uma seca, de abril a outubro, e outra chuvosa, de novembro a março (VIANNA, 2018). A precipitação durante o período do ensaio apresentou-se baixa do início do experimento (maio de 2018) ao fim do experimento (outubro de 2018), com índices pluviométricos próximos a zero, não ocorrendo chuvas até o período de agosto, onde as chuvas começaram a ocorrer com mais frequência e os índices pluviométricos aumentaram, como pode ser observado no Gráfico 1 (Apêndice 1).

Em relação a radiação solar, quanto mais próximo do equador, mais crítica é a incidência, como é o caso das regiões norte, nordeste e centro-oeste do Brasil (BAYER, 2004). Isso explica alta incidência ocorrida durante o ensaio de intemperismo natural, em que os níveis de radiação solar se apresentaram altos, alcançando níveis variando entre 0,74 a 0,86W/m², como mostrado no gráfico 2 (Apêndice 1).

Na região centro oeste, é observado a variação de temperatura entre 18°C a 22°C, relativamente baixa, devido ao efeito da altitude (Da Silva et al., 2008). No período de intemperismo natural, a temperatura média na região do ensaio variou entre 19°C a 23°C, como observado no Gráfico 3 (Apêndice 1).

3.4 COLORIMETRIA DA MADEIRA

Para avaliação da mudança de cor entre cada período de exposição ao intemperismo artificial e natural, foi utilizado um espectrofotômetro, tomando-se medidas dos parâmetros colorimétricos na face tangencial da madeira. A varredura foi feita no sentido das fibras, totalizando 10 medições por amostra entre cada ciclo. Os parâmetros colorimétricos (L*, a*, b*, C e h*), definidos no sistema CIELAB 1976 foram obtidos em um espectrofotômetro ColorEye XTH marca X-Rite, nas condições: iluminante D65 e ângulo de 10° em temperatura ambiente, acoplado a um microcomputador utilizando o software icolor rite (Figura 14).



Figura 14. Espectrofotômetro ColorEye XTH marca X-Rite., com microcomputador acoplado.

Para caracterizar a cor das amostras em cada tratamento, foi utilizada a tabela de cores sugerida por Camargos & Gonzalez (2001). A equação de variação total da cor (ΔE) (equação 3.1) foi utilizada para determinar as variações dos parâmetros colorimétricos entre os tratamentos, de acordo com a norma ASTM D 2244 (2009).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Onde:

ΔE = variação da cor entre ciclos;

ΔL = variação da luminosidade entre ciclos;

Δa = variação do parâmetro a^* (parâmetro colorimétrico do eixo de cores vermelho-verde) entre ciclos;

Δb = variação do parâmetro b^* (parâmetro colorimétrico do eixo de cores amarelo-azul) entre ciclos.

Para classificar a variação da cor foi usada a Tabela 5, elaborada por Hikita *et al.*, (2001) baseada em níveis de percepção de cor a olho nu.

Tabela 5. Classificação da variação total da cor (ΔE^*) de madeiras.

Varição da cor (ΔE^*)	Classificação
---------------------------------	---------------

0,0 - 0,5	Desprezível
0,5 - 1,5	Ligeiramente perceptível
1,5 - 3,0	Notável
3,0 - 6,0	Apreciável
6,0 - 12,0	Muito apreciável

3.5 RUGOSIDADE DA MADEIRA

Esta análise foi feita utilizando um rugosímetro de arraste surfest sj-400 da marca mitutoyo (Figura 15), programado para medir a rugosidade das amostras através da norma JIS B 0601 (2001). Para cada amostra de cada tratamento foram feitas 3 medições de rugosidade na parte tangencial da madeira e no sentido perpendicular as fibras. Esta análise foi feita somente para as amostras submetidas ao intemperismo natural e artificial.

As medições foram realizadas em 3 posições diferentes, dentro de cada amostra, no sentido perpendicular às fibras, utilizando uma base milimétrica a fim de respeitar a mesma posição de arraste para análises entre todos os ciclos de intemperismo.

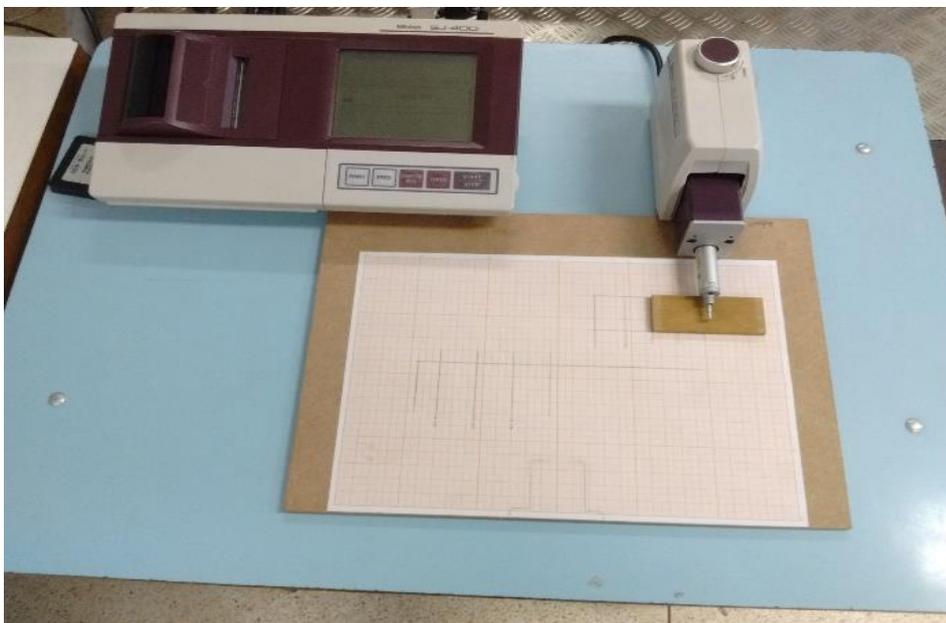


Figura 15. Rugosímetro Mitutoyo Surf Test modelo SJ-400 em esquema de utilização descrito para o experimento.

O equipamento fornece, para cada leitura, um perfil de rugosidade, como observado na figura 16, no qual são obtidos os dados de rugosidade média.

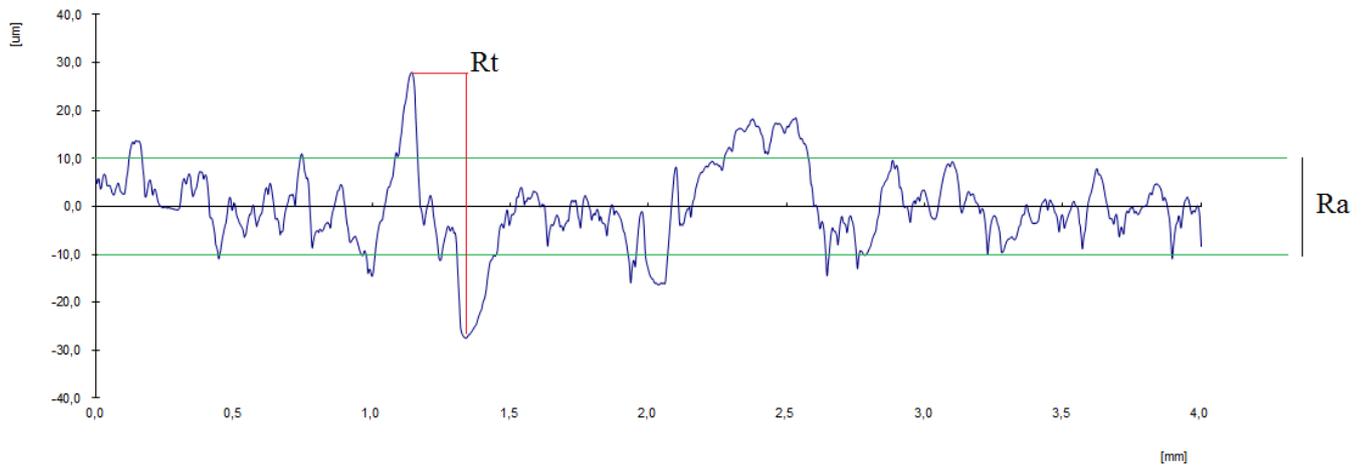


Figura 16. Perfil de rugosidade superficial obtido pelo Rugosímetro Mituoyo Sufstest modelo SJ-400.

Foi analisado o parâmetro Ra que corresponde a média aritmética dos valores absolutos dos desvios do perfil, que foi obtido de acordo com a Equação 3.2 (MITUTOYO CORPORATION, 2004).

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N |Y_i| \quad (\text{Equação 3.2})$$

Onde:

Ra= Rugosidade média;

Rz= Soma da altura dos cinco picos mais altos do perfil e a profundidade dos cinco vales mais profundos do perfil medidos de uma linha paralela à linha média;

Rt= Soma da altura do pico máximo do perfil e a profundidade do vale máximo do perfil sobre a extensão avaliada (8mm);

Y_i = Desvios do perfil.

3.6 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO MÉDIO

As análises de espectroscopia no infravermelho médio foram feitas utilizando metodologia adotada por Mesquita (2016). Os espectros de reflectância das amostras foram obtidos por meio de um espectrofotômetro no infravermelho médio com transformada de

Fourier (FT-IR), marca Bruker, modelo Tensor22 acoplado em microcomputador com utilização de software OPUS (Figura 17), com dispositivo de reflectância difusa EasyDiff da marca Pike (Figura 18).



Figura 17. Espectrofotômetro TENSOR 37, marca Bruker.

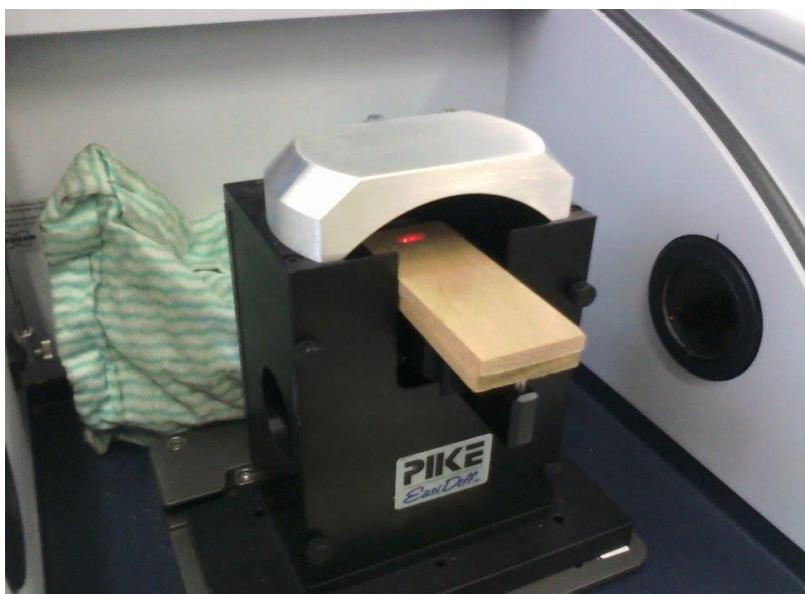


Figura 18. Dispositivo de reflectância difusa EasyDiff da marca PIKE.

A análise foi feita em sala climatizada com controle das interferências que pudessem afetar os resultados. Em cada amostra, foram realizadas 3 leituras na face tangencial com 64 varreduras por espectro, totalizando 192 varreduras. Os espectros foram manipulados utilizando o software OPUS no qual se obteve a média dos espectros para cada tratamento

em cada período de intemperismo e a quantificação aproximada das bandas puras de lignina, celulose e carbonila, como mostra a figura 19, que são os parâmetros analisados no estudo, bem como suas variações ao longo do intemperismo.

Após obtenção dos espectros foi possível fazer a quantificação aproximada das bandas puras de lignina, celulose e carbonila e em seguida a normalização dos espectros, utilizando como base o pico puro de celulose, por este componente se mostrar estabilidade durante os processos de intemperismo.

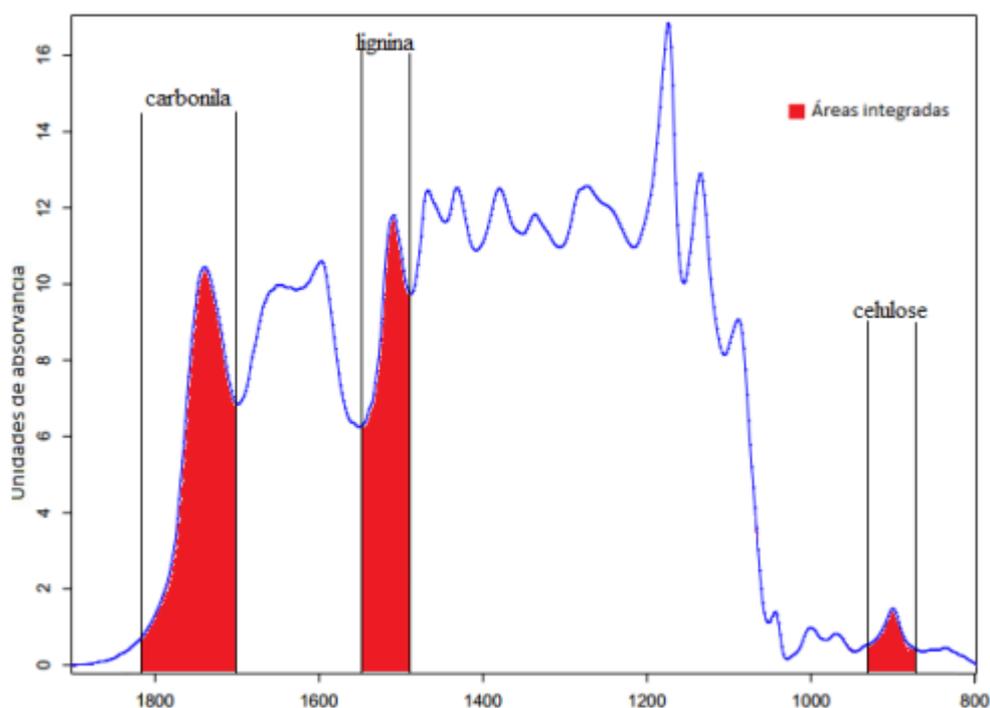


Figura 19. Espectro de amostra de madeira com picos de interesse dos quais suas áreas sofreram integração para quantificação química.

A figura 19 apresenta a área referente a carbonila que está localizada entre as bandas 1865cm^{-1} a 1730cm^{-1} e está associada às ligações carbonílicas $\text{C}=\text{O}$. A banda referente a lignina está localizada entre as bandas 1487cm^{-1} a 1552cm^{-1} , associada às ligações $\text{C}=\text{C}$, e as bandas puras referentes a celulose está localizada entre as bandas 867cm^{-1} a 934cm^{-1} , associada a ligação $\text{C}-\text{H}$.

3.7 ANÁLISE DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizada no Laboratório de Anatomia da Madeira do Serviço Florestal Brasileiro (SFB). Foram captadas imagens da face tangencial das amostras para análise dos efeitos do intemperismo nos elementos

anatômicos da madeira antes e após os ensaios de intemperismo. O equipamento utilizado é o Microscópio eletrônico de varredura TM4000Plus da fabricante Hitachi, com aumento de até 120.000x. O equipamento utilizado no trabalho possui níveis de aceleração de 5 kV, 10kV, 15 kV e 20kV. É dotada de detectores para elétrons retro espalhados (BSE), secundários (SE) e EDS (energy dispersive spectroscopy) possibilitando análise elementar. (Figura 20).

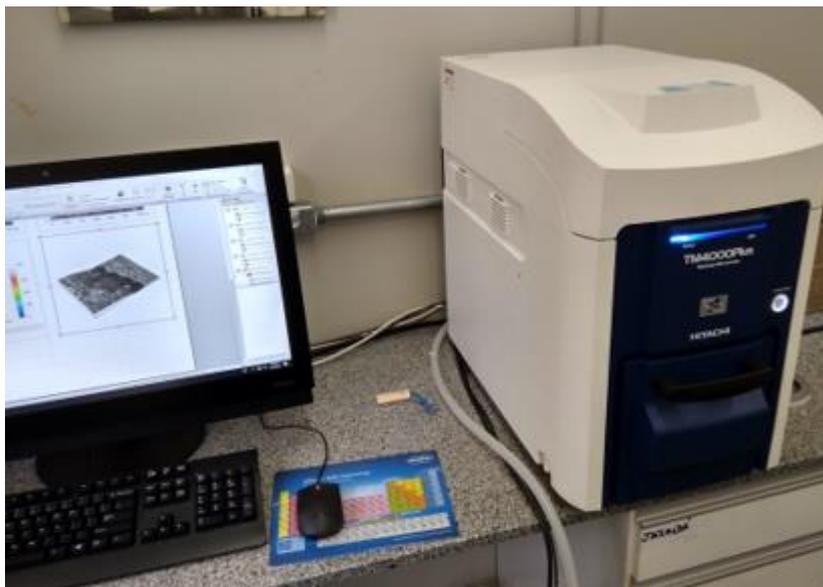


Figura 20. Microscópio eletrônico de varredura (MEV) TM4000Plus.

3.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os valores das variáveis colorimétricas e das variáveis relativas aos parâmetros de rugosidade foram obtidos diretamente pelos softwares de aquisição de dados dos equipamentos e posteriormente tabulados em planilhas eletrônicas do software EXCEL 2016. Foram feitos testes iniciais que comprovaram a normalidade da distribuição dos dados (Shapiro-Wilk a 95% de probabilidade) e então foi feita a análise de variância (ANOVA), com auxílio do programa ASSISTAT 7.7, para verificar se existia diferença estatística entre os parâmetros antes e após a aplicação dos produtos de acabamento dentre os tratamentos. Para os dados onde as amostras diferiram estatisticamente entre ciclos de intemperismo, foi aplicado o teste de médias de Tukey a 5% de significância.

Foi realizado, ainda, a correlação de Pearson objetivando correlacionar o ensaio de intemperismo artificial acelerado com o ensaio de intemperismo natural.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DE COLORIMETRIA

4.1.1 Colorimetria das espécies submetidas ao ensaio de intemperismo natural.

As análises colorimétricas das madeiras de cedro (Tabela 6), ipê (Tabela 7), jequitibá (Tabela 8), marupá (Tabela 9) e maçaranduba (Tabela 10), submetidas ao intemperismo natural segundo os ciclos de tempos mencionados na tabela 3 (material e métodos) são apresentadas a seguir.

Tabela 6. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de cedro submetida ao intemperismo Natural.

cedro	Ciclo	Dias	L*	a*	b*	C	h*	ΔE	Classificação (*)	Cor (**)
Testemunha	T1	0	62,45a (1,11)	15,25a (0,61)	26,70c (0,73)	30,74c (0,91)	60,27a (0,50)	29,15	Muito apreciável	Rosa
	T2	7	57,10bc (1,21)	15,70a (0,70)	30,46b (0,60)	34,27b (0,61)	62,74b (1,15)			
	T3	14	58,34b (1,59)	13,41b (0,88)	30,62b (0,71)	33,44b (0,86)	66,35c (1,27)			
	T4	31	56,38c (1,44)	15,07a (0,94)	33,72a (0,76)	36,95a (0,98)	65,93c (1,11)			
	T5	62	62,23a (1,40)	9,25c (0,76)	25,71c (1,49)	27,32d (1,64)	70,21d (0,78)			
	T6	124	47,00d (2,29)	1,73d (0,21)	5,98d (0,67)	6,23e (0,69)	73,77e (1,01)			
Verniz comum	T1	0	56,11ab (1,16)	18,18b (0,54)	30,56bc (0,47)	35,56c (0,63)	59,26a (0,53)	30,95	Muito apreciável	Preto
	T2	7	49,96c (1,44)	21,06a (0,90)	30,50bc (1,13)	37,09b (0,85)	55,35b (1,82)			
	T3	14	51,85c (1,75)	18,21b (1,08)	31,10b (1,42)	36,06bc (1,10)	59,61a (2,24)			
	T4	31	54,73b (1,58)	17,70b (0,96)	35,47a (0,85)	39,66a (0,70)	63,46c (1,56)			
	T5	62	56,78a (1,98)	12,14c (1,24)	29,66c (1,62)	32,06d (1,88)	67,78d (1,38)			
	T6	124	41,24d (1,66)	2,73d (0,23)	8,24d (0,77)	8,68e (0,79)	71,65e (0,76)			
Verniz marítimo	T1	0	55,28a (1,84)	18,68b (0,66)	31,02a (0,68)	36,21a (0,81)	58,94a (0,77)	22,6	Muito apreciável	Rosa acinzentado
	T2	7	47,60b (1,47)	20,95a (0,72)	27,81b (0,82)	34,83ab (0,77)	53,01b (1,28)			
	T3	14	47,85b (1,55)	19,68ab (0,72)	27,17b (1,34)	33,57b (1,00)	54,04b (1,96)			
	T4	31	47,87b (1,99)	19,31b (0,64)	27,84b (1,94)	33,92b (1,45)	55,16bc (2,43)			
	T5	62	49,49b (3,54)	18,80b (1,89)	29,17ab (2,53)	34,75ab (2,61)	57,17ac (2,95)			
	T6	124	55,81a (1,74)	3,88c (1,13)	13,94c (2,55)	14,49c (2,71)	74,64e (2,76)			

As médias seguidas pela mesma letra em cada coluna, dentro de cada tratamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Os valores apresentados entre parênteses referem-se ao desvio padrão. (*) = Classificação da variação da cor proposta por Hikita et al., (2001) baseada em níveis de percepção. (**) = Cor da madeira, segundo classificação proposta por Camargos e Gonzalez (2001).

Analisando a Tabela 6. referente a madeira de cedro, é observado que a coordenada b^* (coloração amarela) apresentou valores mais elevados ao ser comparada à coordenada a^* (coloração vermelha), constatando que ocorre o predomínio da tonalidade amarela na formação da cor da madeira de cedro, sendo classificada de acordo com Camargos e Gonzalez (2001) como rosa, exceto para a madeira tratada com verniz, que sofre alteração de cor para laranja amarelado. Entretanto, observa-se que a coordenada a^* tem valores considerados altos, o que sugere que a cor da espécie tem participação da pigmentação avermelhada na composição da cor final de sua madeira.

Para todos os tratamentos (testemunha, verniz comum e verniz marítimo) o efeito dos parâmetros de cor, quando submetidos ao intemperismo natural, foram equivalentes. É evidente a elevação de valores das coordenadas a^* e b^* após as primeiras semanas, seguidas posteriormente de diminuição no período de 62 dias, permanecendo ao fim do experimento abaixo dos valores analisados da madeira antes da ação do intemperismo. Em relação aos parâmetros de luminosidade (L^*), em todos os tratamentos, foi observado uma redução gradual do parâmetro, causando clareamento da madeira, exceto para as amostras tratadas com verniz marítimo. A maior variação dos parâmetros colorimétricos foi observada para madeiras sem produtos de acabamento, seguidas pelas amostras tratadas de verniz comum e posteriormente amostras tratadas com verniz marítimo.

Observa-se pelos valores colorimétricos obtidos, em pouco tempo de exposição ao ambiente natural, o intemperismo afeta a madeira de cedro de forma notável, apesar dos produtos de acabamento amenizar os efeitos, mas não conseguem frear a atuação dos fatores que compõem o intemperismo. Dentre estes, segundo Temiz, et al., (2005), a irradiação ultravioleta age de forma mais significativa.

O comportamento da saturação da cor (C) foi o parâmetro que mais sofreu variação, reduzindo com o passar do tempo de intemperismo, indicando que há perda dos cromóforos colorimétricos vermelho-verde e azul-amarelo, fazendo com que a madeira se torne cada vez

mais esbranquiçada. A variação da saturação da cor foi mais evidente nas amostras sem tratamento (Testemunha), seguida por amostras tratadas com verniz comum e posteriormente por amostras tratadas com Verniz marítimo.

Ao final do experimento, para todos os tratamentos, as amostras sofreram variação de cor classificada como “Muito apreciável”, de acordo com classificação proposta por Hikita et al.,(2001), e sua cor que antes foi classificada como Rosa, de acordo com classificação de Camargos e Gonzalez., (2001), se tornou preta para amostras sem produtos de acabamento e tratadas com verniz comum, e rosa acinzentado, para amostras tratadas com verniz marítimo, indicando que estas últimas resistiram mais ao processo de intemperismo quando comparada com as anteriores, tornando o verniz marítimo o mais indicado para esta situação. Nesta direção, a menor variação de cor(ΔE) ocorreu para amostras tratadas com verniz marítimo (22,6), indicando que tal produto pode ser a melhor escolha entre os testados para estas condições.

Em ensaio de intemperismo natural utilizando amostras de Cedro, de SOUZA et al., (2019) encontrou variação da cor (ΔE) igual a 17,48, inferior aos valores encontrados neste estudo. As condições meteorológicas em que foi realizado cada experimento pode ter influenciado no resultado final.

A Tabela 7. apresenta os resultados de colorimetria da madeira de Ipê submetidas ao intemperismo natural.

Tabela 7. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de ipê submetida ao intemperismo Natural.

Ipê	Ciclo	Dias	L*	a*	b*	C	h*	ΔE	Classificação (*)	Cor (**)
Testemunha	T1	0	41.47a (1,76)	8.54d (0,84)	16.83c (1,14)	18.88d (1,30)	63.10b (1,69)	11,91	Muito apreciável	Oliva - Vermelho
	T2	7	40.58a (2,35)	12.27c (0,52)	22.95b (1,87)	26.04c (1,81)	61.78bc (1,55)			
	T3	14	39.18a (2,21)	14.25b (0,60)	24.73ab (1,88)	28.55b (1,88)	59.97c (1,19)			
	T4	31	38.72a (2,80)	16.38a (0,87)	25.73a (2,25)	30.52a (2,21)	57.42d (1,79)			
	T5	62	45.23b (3,39)	14.30b (0,55)	25.49a (1,88)	29.25ab (1,69)	60.61c (1,90)			
	T6	124	46.71b (2,80)	2.87e (0,31)	7.76d (0,45)	8.28e (0,50)	69.74a (1,58)			
Verniz comum	T1	0	35.51b (1,15)	10.49c (0,72)	17.47b (1,42)	20.38c (1,52)	58.95b (1,48)			Vermelho
	T2	7	35.98b (2,05)	11.08c (1,01)	17.64b (2,22)	20.84bc (2,37)	57.73b (1,68)			

	T3	14	37.63ab (2,78)	12.77b (1,11)	20.11ab (3,01)	23.83ab (3,09)	57.31b (2,18)		
	T4	31	36.18b (3,09)	15.54a (1,33)	21.09a (3,29)	26.21a (3,41)	53.31c (2,37)		
	T5	62	41.25a (4,27)	14.28a (1,02)	21.79a (3,30)	26.09a (3,18)	56.43bc (3,09)		
	T6	124	37.64ab (3,69)	4.76d (1,11)	11.09c (1,02)	12.10d (1,27)	66.94a (3,71)	8,83	Muito apreciável
Verniz marítimo	T1	0	36.60b (1,96)	10.66a (1,27)	16.95ab (1,62)	20.03a (2,02)	57.87a (1,12)		Marrom escuro
	T2	7	35.42b (3,04)	9.67a (1,49)	15.13ab (3,24)	17.96a (3,52)	57.17a (1,55)		
	T3	14	34.71b (3,40)	8.84* (1,70)	13.76bc (3,30)	16.36a (3,69)	57.07a (1,34)		
	T4	31	37.55b (3,74)	9.01a (2,05)	14.43abc (3,66)	17.02a (4,17)	57.86a (1,74)		
	T5	62	46.75a (4,29)	9.85a (1,13)	18.08a (2,77)	20.61a (2,86)	61.21b (2,56)		
	T6	124	48.27a (2,99)	4.41b (1,19)	11.18c (2,35)	12.03b (2,56)	68.52c (3,04)	14,44	Muito apreciável

As médias seguidas pela mesma letra em cada coluna, dentro de cada tratamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Os valores apresentados entre parênteses referem-se ao desvio padrão. (*) = Classificação da variação da cor proposta por Hikita et al., (2001) baseada em níveis de percepção. (**) = Cor da madeira, segundo classificação proposta por Camargos e Gonzalez (2001).

Observando-se a Tabela 7, verifica-se que as amostras de ipê (testemunha) se apresentam naturalmente escuras, com o parâmetro de claridade (L^*) variando entre 38 a 46, e estas sofreram variação em sua intensidade de cor no decorrer do processo de intemperismo natural, principalmente nos dois ciclos finais (T5 e T6) onde L^* atinge valores superiores aos demais ciclos. A madeira que era de coloração vermelho-oliva passa para preto. As coordenadas a^* e b^* mostram a descoloração da madeira, tornando-a escura (preto). A madeira, apesar de escura apresenta uma superfície saturada (torando-a acinzentada), o que contribui, provavelmente, para aumentar o valor de L^* .

Observando-se ainda a Tabela 7, a madeira de ipê tratada com verniz comum mostrou uma menor variação de cor ($\Delta E = 8,83$), quando comparado com a testemunha e com o verniz marítimo, sugerindo que o verniz comum apresentou melhor performance. De acordo com classificação adotada por Hikita et al., (2001) a variação de cor ao final dos experimentos foi muito apreciável para todos os tratamentos.

De acordo com classificação adotada por Camargos e Gonzalez., (2001), as amostras in natura (sem produtos de acabamento) e as tratadas com verniz comum apresentaram coloração Oliva. Enquanto as amostras tratadas com verniz marítimo apresentaram inicialmente a cor marrom escura, e ao fim do experimento a cor oliva. É observado no

decorrer do intemperismo uma variação estatisticamente considerável do parâmetro de saturação da cor (C) das amostras para todos os tratamentos, o que indica perda de pigmentação das amostras, tornando-as mais acinzentadas.

A Tabela 8 apresenta os valores médios das variáveis colorimétricas da madeira de jequitibá que sofreu o processo de intemperismo natural.

Tabela 8. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de jequitibá submetida ao intemperismo Natural.

Jequitibá	Ciclo	Dias	L*	a*	b*	C	h*	ΔE	Classificação (*)	Cor (**)
Testemunha	T1	0	67.79a (1,08)	9.58c (0,72)	18.36d (1,35)	20.72d (1,43)	62.41e (1,53)	26,8	Muito apreciável	Rosa
	T2	7	64.12b (0,79)	11.94b (0,58)	31.90b (0,87)	34.07b (0,96)	69.48cd (0,70)			
	T3	14	63.99b (1,07)	11.42b (0,60)	32.23b (1,21)	34.19b (1,32)	70.48c (0,50)			
	T4	31	62.10c (1,07)	13.78a (0,72)	35.71a (1,22)	38.28a (1,38)	68.90d (0,48)			
	T5	62	66.49a (1,40)	9.23c (0,71)	28.86c (1,45)	30.30c (1,59)	72.27b (0,55)			
	T6	124	44.84d (2,87)	1.88d (0,47)	6.85e (1,00)	7.11e (1,08)	74.78a (1,94)			
Verniz comum	T1	0	62.04a (1,63)	12.69d (0,55)	22.44e (0,64)	25.78e (0,63)	62.41e (1,27)	27,3	Muito apreciável	Rosa
	T2	7	61.38a (1,49)	14.06b (0,48)	34.43c (0,84)	37.20c (0,81)	69.48cd (0,84)			
	T3	14	61.62a (1,45)	13.38c (0,44)	36.16b (0,64)	38.56b (0,64)	70.48c (0,67)			
	T4	31	61.12a (1,20)	14.76a (0,50)	38.89a (0,71)	41.60a (0,79)	68.90d (0,49)			
	T5	62	61.60a (1,60)	10.37e (0,66)	30.28d (1,08)	32.01d (1,23)	72.27b (0,57)			
	T6	124	41.45b (2,15)	2.59f (0,40)	7.80f (0,69)	8.23f (0,77)	74.78a (1,32)			
Verniz marítimo	T1	0	61.70a (1,25)	12.80c (0,67)	23.14d (0,69)	26.45d (0,80)	61.04e (1,15)	20,64	Muito apreciável	Preto
	T2	7	59.60b (1,23)	14.16ab (0,45)	31.18c (0,89)	34.25c (0,90)	65.55d (0,74)			
	T3	14	60.75ab (1,26)	13.81b (0,35)	33.88b (0,90)	36.59b (0,89)	67.81c (0,59)			
	T4	31	60.57ab (1,12)	13.56bc (0,33)	35.28ab (0,63)	37.80ab (0,64)	68.96b (0,45)			
	T5	62	61.35a (1,53)	14.84a (1,24)	36.00a (2,35)	38.94a (2,62)	67.61c (0,72)			
	T6	124	52.83c (2,44)	1.83d (0,32)	8.07e (1,31)	8.28e (1,35)	77.17a (0,89)			

As médias seguidas pela mesma letra em cada coluna, dentro de cada tratamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Os valores apresentados entre parênteses referem-se ao desvio padrão. (*) = Classificação da variação da cor proposta por Hikita et al., (2001) baseada em níveis de percepção. (**) = Cor da madeira, segundo classificação proposta por Camargos e Gonzalez (2001).

Para a madeira de jequitibá (Tabela 8) foi observado uma variação mais pronunciada do parâmetro de claridade (L^*), para todos os tratamentos (testemunha, verniz comum e verniz marítimo), indicando o escurecimento das amostras durante o intemperismo. Para o verniz comum a espécie mostrou um escurecimento mais acentuado no último ciclo (T6).

Tanto para amostras sem tratamento (Testemunha) quanto para amostras tratadas (Verniz comum e marítimo) a classificação inicial da cor foi rosa. Ao final do experimento, todas as amostras de todos os tratamentos sofreram variação de cor acentuada, ficando de coloração escurecida (preto), de acordo com a classificação de Camargos e Gonzalez, (2001). As coordenadas cromáticas (a^* e b^*) mostram o escurecimento da madeira, com valores baixos, no último ciclo, explicando a coloração preta ao final. As amostras de jequitibá com menor variação da cor (ΔE) foram as tratadas com verniz marítimo.

A Tabela 9. apresenta os resultados de colorimetria da madeira de marupá submetidas ao intemperismo natural.

Tabela 9. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de marupá submetida ao intemperismo Natural.

Marupá	Ciclo	Dias	L^*	a^*	b^*	C	h^*	ΔE	Classificação (*)	Cor (**)
Testemunha	T1	0	81.81a (0,99)	3.65d (0,48)	25.60c (0,99)	25.87c (1,03)	81.88a (0,90)			Amarelo Claro
	T2	7	75.17b (0,91)	8.47b (0,41)	36.18a (0,80)	37.16a (0,86)	76.81b (0,40)			
	T3	14	71.49c (0,98)	9.26b (0,49)	32.65b (0,84)	33.94b (0,93)	74.16c (0,50)			
	T4	31	69.03c (0,91)	11.39a (0,55)	33.98b (0,73)	35.84ab (0,84)	71.47d (0,59)			
	T5	62	71.13c (2,59)	5.12c (0,53)	19.90d (1,27)	20.55d (1,35)	75.58b (0,77)			
	T6	124	48.26d (4,81)	3.97d (1,55)	9.87e (3,07)	10.65e (3,41)	68.53e (2,41)	37,6	Muito apreciável	
Verniz comum	T1	0	78.88a (1,03)	4.66e (0,36)	30.26c (1,14)	30.62b (1,16)	81.24a (0,55)			Amarelo claro
	T2	7	74.76b (1,05)	9.25c (0,44)	39.74a (0,69)	40.81a (0,72)	76.89b (0,55)			
	T3	14	71.23c (1,08)	10.69b (0,36)	38.07b (0,54)	39.54a (0,56)	74.30c (0,50)			
	T4	31	68.77d (0,67)	12.18a (0,31)	37.58b (0,86)	39.51a (0,88)	72.04e (0,36)			
	T5	62	68.55d (1,63)	7.00d (0,48)	23.02d (1,30)	24.06c (1,36)	73.08d (0,57)			
	T6	124	41.32e (3,11)	4.45e (1,01)	10.46e (2,03)	11.37d (2,25)	67.03f (1,30)	42,46	Muito apreciável	

Verniz marítimo	T1	0	77.6a (1,69)	5.31c (0,72)	32.45c (1,49)	32.89c (1,58)	80.73a (0,86)	32,98	Muito apreciável	Oliva amarelado
	T2	7	75.44b (1,51)	8.68b (0,53)	38.21a (0,62)	39.19a (0,68)	77.20b (0,65)			
	T3	14	72.58c (1,18)	10.50a (0,45)	38.47a (0,40)	39.88a (0,47)	74.73c (0,53)			
	T4	31	69.87d (1,10)	11.10a (0,44)	37.01a (0,68)	38.64a (0,74)	73.30d (0,49)			
	T5	62	70.66cd (1,35)	10.82a (0,91)	34.01b (2,34)	35.70b (2,49)	72.36d (0,55)			
	T6	124	55.65e (3,58)	2.59d (0,65)	8.06d (1,23)	8.48d (1,36)	72.31d (2,15)			

As médias seguidas pela mesma letra em cada coluna, dentro de cada tratamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Os valores apresentados entre parênteses referem-se ao desvio padrão. (*) = Classificação da variação da cor proposta por Hikita et al., (2001) baseada em níveis de percepção. (**) = Cor da madeira, segundo classificação proposta por Camargos e Gonzalez (2001).

De acordo com a Tabela 9, a madeira de marupá apresenta cor amarela clara, conforme classificação adotada por Camargo e Gonzalez., (2001). Ao final do processo de intemperismo natural, as madeiras sem tratamento e tratadas com verniz comum se tornaram oliva, e as amostras tratadas com verniz marítimo, sofreram menor variação de cor (ΔE), e tornaram oliva amarelado. Esse resultado sugere que o verniz marítimo é o produto de acabamento que mais protegeu a cor original da espécie.

De uma forma geral, em todos os tratamentos, o parâmetro referente a claridade (L^*) da madeira variou estatisticamente, tornando as amostras claras. O parâmetro de saturação da cor também variou estatisticamente, reduzindo durante o intemperismo, tornando a madeira mais esbranquiçada juntamente com a redução dos cromóforos a^* e b^* .

A Tabela 10 apresenta os valores médios das variáveis colorimétricas da madeira de maçaranduba que sofreu o processo de intemperismo natural.

Tabela 10. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de maçaranduba submetida ao intemperismo Natural.

Maçaranduba	Ciclo	Dias	L	a^*	b^*	C	h^*	ΔE	Classificação (*)	Cor (**)
Testemunha	T1	0	47.10a (1,57)	18.62a (0,60)	19.55ab (0,75)	27.01a (0,75)	46.38d (1,30)			Vermelho
	T2	7	34.26d (1,29)	15.77c (1,16)	16.09c (1,73)	22.54c (1,99)	45.53d (1,45)			
	T3	14	33.51de (1,12)	14.36d (0,57)	16.10c (1,17)	21.58c (1,20)	48.20c (1,37)			
	T4	31	32.53e (0,96)	16.86b (0,71)	18.62b (1,21)	25.12b (1,32)	47.80c (1,09)			

	T5	62	39.69c (1,56)	13.63e (0,61)	20.58a (1,11)	24.69b (1,09)	56.44b (1,53)		
	T6	124	45.41b (1,81)	3.22f (0,34)	8.96d (0,64)	9.53d (0,71)	70.25a (1,01)	18,77	Muito apreciável Oliva
Verniz comum	T1	0	43.25a (1,86)	20.46a (0,69)	23.30a (1,21)	31.02a (1,14)	48.68c (1,50)		Vermelho
	T2	7	34.86c (0,98)	17.51b (0,60)	17.06c (1,04)	24.46b (1,10)	44.18d (1,21)		
	T3	14	34.80c (1,46)	14.68c (1,15)	16.01c (1,70)	21.73c (1,99)	47.40c (1,31)		
	T4	31	34.46c (1,76)	16.86b (1,35)	19.23b (2,17)	25.59b (2,45)	48.67c (1,65)		
	T5	62	40.84b (1,68)	13.34d (1,28)	20.06b (1,78)	24.10b (2,10)	56.37b (1,51)		
	T6	124	39.46b (1,37)	3.28e (0,50)	9.22d (0,84)	9.79d (0,95)	70.49a (1,36)	22,53	Muito apreciável Oliva
Verniz marítimo	T1	0	44.26a (2,81)	20.13a (0,93)	22.29a (2,39)	30.06a (2,23)	47.77c (2,43)		Vermelho
	T2	7	36.23b (2,00)	19.10a (1,40)	15.96b (2,19)	24.92b (2,42)	39.71e (2,20)		
	T3	14	35.41b (1,66)	16.92b (1,61)	13.76bc (2,13)	21.82b (2,56)	38.93e (2,08)		
	T4	31	38.12b (1,63)	13.02c (1,83)	12.37cd (1,93)	17.97c (2,59)	43.47d (1,97)		
	T5	62	46.11a (3,51)	9.12d (2,33)	12.24cd (2,80)	15.29c (3,54)	53.50b (3,18)		
	T6	124	46.83a (2,47)	4.71e (1,00)	10.35d (1,66)	11.38d (1,90)	65.66a (1,94)	19,67	Muito apreciável Oliva

As médias seguidas pela mesma letra em cada coluna, dentro de cada tratamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Os valores apresentados entre parênteses referem-se ao desvio padrão. (*) = Classificação da variação da cor proposta por Hikita et al., (2001) baseada em níveis de percepção. (**) = Cor da madeira, segundo classificação proposta por Camargos e Gonzalez (2001).

Conforme observado na Tabela 10, a madeira de maçaranduba apresenta inicialmente uma coloração mais escura, com o parâmetro de claridade(L*) abaixo de 50 e classificadas como vermelhas, segundo metodologia de Camargos e Gonzalez (2001).

Para todos os tratamentos, as amostras sofreram alterações, que apesar de significativas em muitos dos ciclos, quando observa-se o parâmetro de claridade, comparando os valores de início e fim do processo de intemperismo, manteve-se escurecidas. O parâmetro de saturação da cor (C), e das coordenadas a* e b* sofreram bastante variação ao longo do processo, no qual a variação de cor foi muito apreciável para todos os tratamentos, com variação de cor similares entre os tratamentos, passando da cor inicial vermelha para oliva ao final do experimento.

A menor variação colorimétrica (ΔE) ocorreu para as madeiras testemunhas, evidenciando que a aplicação de produtos de acabamento não influenciou no processo de intemperismo das amostras.

Em trabalho testando amostras de maçaranduba submetidos ao intemperismo natural com produtos de acabamento, Maia et al., (2018), obtiveram resultados semelhantes quando aplicou verniz comum. De início as amostras tiveram uma alteração sutil na cor original da madeira, com a redução do parâmetro L^* , indicando o escurecimento da madeira.

4.1.2 Colorimetria das espécies submetidas ao ensaio de intemperismo artificial.

A seguir são apresentados os resultados de colorimetria das espécies estudadas submetidas ao intemperismo artificial. Ressalta-se que o estudo de intemperismo artificial foi feito com quatro espécies (a espécie jequitibá rosa não foi concluído) e dois tratamentos (testemunha e verniz comum).

A Tabela 11 mostra os resultados do intemperismo artificial obtido para a madeira de cedro.

Tabela 11. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de cedro submetida ao intemperismo artificial.

cedro	Ciclo	horas	L^*	a^*	b^*	C	h^*	ΔE	Classificação (*)	Cor (**)
Testemunha	T1	0	64,81a (1,38)	13,05c (0,36)	25,11c (0,52)	27,58c (0,61)	62,53c (0,61)			Rosa
	T2	24	52,42de (1,36)	16,26a (0,63)	29,59ab (0,71)	33,76a (0,91)	61,20e (0,66)			
	T3	48	51,59e (1,42)	15,54a (0,68)	29,11ab (1,11)	33,99ab (1,19)	61,90de (0,48)			
	T4	96	52,09e (1,21)	14,44b (0,71)	27,68bc (0,93)	31,22bc (1,21)	62,45cd (0,55)			
	T5	200	52,40de (0,84)	11,41d (0,61)	24,09d (1,21)	26,65d (1,28)	64,65b (0,61)			
	T6	400	54,14cd (1,11)	9,51ef (0,99)	21,85e (1,87)	23,82e (2,02)	66,47a (0,59)			

	T7	600	56,05b (1,87)	9,31f (1,08)	21,65e (1,29)	23,56e (2,74)	66,72a (1,04)	10,13	Muito apreciável	Oliva
	T1	0	55,47a (1,76)	9,35a (9,67)	32,59a (5,24)	33,91a (5,53)	73,99a (1,03)			Rosa
	T2	24	59,99b (3,64)	11,36b (4,17)	40,13b (2,11)	41,71b (1,81)	74,19a (1,14)			
	T3	48	59,61b (3,46)	11,35b (6,65)	40,90bc (2,57)	42,45b (2,51)	74,49a (1,34)			
Verniz comum	T4	96	59,25b (3,26)	11,82b (6,29)	41,48bc (2,42)	43,13bd (2,29)	74,10a (1,39)			
	T5	200	57,20bc (3,45)	12,62b (5,32)	41,03bc (3,44)	42,93b (3,26)	72,90a (1,28)			
	T6	400	55,36ac (3,12)	18,94c (7,69)	42,46c (3,77)	46,49c (3,52)	65,95b (2,68)			
	T7	600	55,35ac (2,94)	19,80d (2,41)	41,95bc (4,29)	46,38cd (3,98)	64,73c (0,78)	14,02	Muito apreciável	Oliva

As médias seguidas pela mesma letra em cada coluna, dentro de cada tratamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Os valores apresentados entre parênteses referem-se ao desvio padrão. (*) = Classificação da variação da cor proposta por Hikita et al., (2001) baseada em níveis de percepção. (**) = Cor da madeira, segundo classificação proposta por Camargos e Gonzalez (2001).

A Tabela 11 mostra os parâmetros colorimétricos da madeira de cedro submetidas ao intemperismo artificial. Observa-se que os tratamentos iniciais para a testemunha diminuíram a claridade da madeira, aumentando as coordenadas cromáticas. No entanto, com o avanço do tempo de intemperismo esta situação foi se invertendo e ao final, esta espécie teve uma perda muito apreciável de sua coloração passando de rosa para oliva.

Já para o tratamento com verniz comum, houve um aumento da claridade inicial, com praticamente uma estabilização da cor durante aos demais ciclos. No entanto, o produto aplicado alterou a pigmentação na madeira, aumentando os valores das coordenadas cromáticas (a^* e b^*) e apesar do valor da claridade não ser diferente estatisticamente da testemunha, houve uma alteração da cor de rosa para oliva devido justamente os aumentos destas coordenadas influenciadas pela pigmentação do produto.

Para os dois tratamentos a cor inicial da madeira foi classificada como Rosa, e ao final do experimento se tornaram oliva, diferente do ocorrido no ensaio de intemperismo

natural em que as amostras sofreram a variação colorimétrica com mais intensidade, se tornando pretas, indicado pela maior redução de cromóforos a* e b* e da variável C.

Catein (2019), em estudo utilizando esta mesma espécie submetida ao intemperismo artificial, encontrou efeitos similares ao aplicar os produtos de acabamento nas amostras, no qual provocou o escurecimento das peças, comprovado pela redução de luminosidade (L*) e aumento das variáveis colorimétricas a* e b*. Em ensaio de intemperismo artificial por 360 horas, amostras sem produtos de acabamento sofreram variação de cor, que passaram de rosa para amarelo amarronzado, diferente dos resultados obtidos neste trabalho, possivelmente devido ao menor tempo de exposição ao intemperismo.

A Tabela 12 apresenta os valores médios das variáveis colorimétricas das amostras de ipê submetidas ao intemperismo artificial.

Tabela 12. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de ipê submetida ao intemperismo artificial.

ipê	Ciclo	horas	L*	a*	b*	C	h*	ΔE	Classificação (*)	Cor (**)
Testemunha	T1	0	41,60d (5,07)	9,98b (3,99)	19,11c (8,06)	21,56c (7,60)	62,42e (2,40)	5,79	apreciável	Oliva/Vermelho
	T2	24	44,64a (3,91)	10,89b (3,01)	25,24a (5,17)	27,49a (5,58)	66,66c (2,01)			
	T3	48	44,04a (2,98)	10,44b (2,07)	24,89a (6,82)	26,99a (5,75)	67,24b (1,52)			
	T4	96	43,88a (5,01)	10,02b (3,31)	25,01a (5,97)	26,95a (4,95)	68,16a (1,81)			
	T5	200	43,36b (4,01)	9,99b (3,37)	24,92a (6,61)	26,85a (4,96)	68,15a (1,35)			
	T6	400	42,57c (2,97)	10,29b (3,58)	24,03b (6,85)	26,14b (7,01)	66,81b (1,68)			
	T7	600	43,23b (3,28)	11,84a (2,69)	24,35b (6,09)	27,07a (6,04)	64,06d (1,39)			
Verniz comum	T1	0	36,07b (4,95)	11,62c (5,01)	17,05c (9,83)	20,63c (9,01)	55,72b (3,08)	3,63	apreciável	Oliva
	T2	24	37,64a (3,01)	13,32b (5,41)	21,30a (8,40)	25,12a (7,42)	57,97a (2,01)			
	T3	48	36,05b (3,51)	13,13b (5,22)	20,94a (7,11)	24,71a (5,83)	57,89a (2,11)			
	T4	96	35,89b (2,95)	13,44b (5,28)	20,95a (9,03)	24,88a (7,51)	57,30a (2,55)			
	T5	200	34,68c (4,43)	12,78b (6,01)	18,86b (10,01)	22,78b (8,35)	55,86b (2,40)			
	T6	400	33,67dc (2,88)	12,89b (6,43)	18,17b (7,99)	22,27b (6,94)	54,63c (2,91)			
	T7	600	34,11c (3,42)	14,67a (6,69)	17,35c (8,05)	22,72b (6,51)	49,78d (2,92)			

As médias seguidas pela mesma letra em cada coluna, dentro de cada tratamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Os valores apresentados entre parênteses referem-se ao desvio padrão. (*) = Classificação da variação da cor proposta por Hikita et al., (2001) baseada em níveis de percepção. (**) = Cor da madeira, segundo classificação proposta por Camargos e Gonzalez (2001).

Observando-se a Tabela 12, verifica-se que para o tratamento testemunha, os valores da claridade (L*) mostraram tendencia de aumentar com o aumento do tempo de intemperismo, em relação ao tratamento T0. As coordenadas a* e b* seguiram a mesma tendencia. A variação total da cor para este tratamento foi classificada como apreciável. Esta classificação também foi para o tratamento com verniz comum. Mas, para este produto, a claridade mostrou tendencia de diminuir com o aumento do tempo de intemperismo.

De uma forma geral, a variação total da cor para o intemperismo artificial foi mais amena quando comparado com o intemperismo natural. Isso é comprovado quando se examina as variáveis a*, b* e C, que não variaram com a mesma intensidade para amostras submetidas ao intemperismo natural.

Em trabalho utilizando madeira de ipê submetida ao intemperismo artificial, Silva et al., (2007). encontraram variação de cor das amostras similares ao deste experimento, no qual se tornaram Oliva-amarronzado-escuro, e atribuiu o escurecimento das amostras pela variação do parâmetro L* em função da formação de compostos quinoidais devido a degradação da lignina pela radiação UV na presença de oxigênio (Hon, 2001).

A Tabela 13 apresenta os valores médios das variáveis colorimétricas das amostras da madeira de marupá submetidas ao intemperismo artificial.

Tabela 13. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de marupá submetida ao intemperismo artificial.

Marupá	Ciclo	horas	L*	a*	b*	C	h*	ΔE	Classificação (*)	Cor (**)
Testemunha	T1	0	76,90a (1,34)	3,82e (0,36)	25,09a (0,50)	25,38c (0,62)	81,34a (0,62)			Amarelo Claro
	T2	24	72,28b (1,26)	9,79cd (0,63)	37,07a (0,73)	38,34a (0,89)	75,20b (0,66)			
	T3	48	71,85b (1,38)	9,81c (0,68)	36,94a (1,07)	38,22ab (1,04)	75,12b (0,46)			
	T4	96	70,61cb (1,32)	11,51b (0,71)	35,34b (0,91)	37,17bc (1,23)	71,96d (0,59)			

	T5	200	69,86c (0,88)	10,07c (0,61)	34,48c (1,19)	35,92d (1,24)	73,72c (0,58)			
	T6	400	67,81cd (1,21)	12,19a (0,99)	33,20d (1,91)	35,36e (2,11)	69,08e (0,61)			
	T7	600	68,76 cd (1,94)	11,82a (1,08)	34,78c (1,26)	36,73e (2,69)	71,22d (1,01)	14,36	Muito apreciável	Amarelo Alaranjado
Verniz comum	T1	0	75,40a (1,71)	4,82g (9,19)	28,67d (5,06)	29,07f (5,49)	80,44a (1,01)			Amarelo Claro
	T2	24	75,48a (3,84)	8,61f (4,22)	39,88c (2,01)	40,80e (1,78)	77,81b (1,15)			
	T3	48	73,90b (3,27)	9,21f (6,41)	40,34b (2,63)	41,38d (2,61)	77,14b (1,22)			
	T4	96	73,05b (3,06)	10,19e (6,35)	42,24a (2,49)	43,45b (2,32)	76,43c (1,41)			
	T5	200	69,60c (3,16)	11,45d (5,40)	40,91b (3,33)	42,48c (3,43)	74,36d (1,25)			
	T6	400	67,81cd (3,20)	13,02b (7,82)	41,50a (3,69)	43,49b (3,47)	72,58e (2,67)			
	T7	600	66,74e (2,89)	16,79a (2,46)	41,72a (4,31)	44,97a (3,91)	68,07f (0,81)	19,71	Muito apreciável	Amarelo Alaranjado

As médias seguidas pela mesma letra em cada coluna, dentro de cada tratamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Os valores apresentados entre parênteses referem-se ao desvio padrão. (*) = Classificação da variação da cor proposta por Hikita et al., (2001) baseada em níveis de percepção. (**) = Cor da madeira, segundo classificação proposta por Camargos e Gonzalez (2001).

Para as madeiras de marupá, observando a Tabela 13, é possível verificar que para o tratamento testemunha, os valores da claridade (L*) aumentam com o tempo de intemperismo, em relação ao tratamento T0. As coordenadas a* e b* tiveram o mesmo comportamento de aumento. A variação total da cor para estes tratamentos foi classificada como muito apreciável.

Barreto e Pastore (2009) testaram a resistência ao intemperismo artificial de quatro madeiras tropicais em ciclos totalizando 2000 horas e encontraram para madeira de marupá sem produtos de acabamento uma variação de cor muito apreciável, resultado similar ao encontrado neste experimento.

Tabela 14 apresenta os valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de maçaranduba submetida ao intemperismo artificial.

Tabela 14. Valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de maçaranduba submetida ao intemperismo artificial.

Maçaranduba	Ciclo	horas	L*	a*	b*	C	h*	ΔE	Classificação (*)	Cor (**)
Testemunha	T1	0	48,01ade (6,71)	16,19a (5,22)	22,14a (3,08)	27,43a (2,81)	53,82a (2,93)	4,36	apreciável	Vermelho
	T2	24	44,02bd (4,01)	18,01b (3,06)	26,39b (2,09)	31,95b (2,14)	55,68a (0,61)			
	T3	48	43,98bd (3,28)	16,89b (3,64)	26,01b (2,23)	31,01bc (2,59)	57,00a (0,91)			
	T4	96	39,66c (2,97)	19,19c (4,40)	23,01a (7,91)	29,96ac (6,53)	50,17b (2,01)			
	T5	200	45,93bde (2,74)	14,18a (3,13)	26,91b (2,19)	30,42ac (2,04)	62,21c (1,30)			
	T6	400	46,98e (3,14)	14,44a (4,62)	25,09ab (2,81)	28,95a (3,15)	60,07c (1,03)			
	T7	600	49,11ae (2,86)	14,63a (3,60)	26,07b (2,20)	29,89ac (2,35)	60,70c (1,08)			
Verniz comum	T1	0	43,01a (4,59)	16,19a (2,20)	22,12ac (4,83)	27,52ad (2,72)	53,79a (3,26)	6,57	Muito apreciável	Oliva
	T2	24	42,18ab (3,22)	20,71b (2,96)	25,62b (7,10)	32,94b (5,39)	51,05ab (2,55)			
	T3	48	40,02bc (3,40)	19,67bc (4,47)	23,81bc (8,97)	30,88bc (7,02)	50,43bc (2,86)			
	T4	96	39,18cd (3,02)	19,52bc (4,31)	22,87ac (8,21)	30,06cd (6,48)	49,51c (2,52)			
	T5	200	37,42d (2,44)	19,08cde (3,89)	21,51a (6,85)	28,75cd (5,47)	48,41cd (2,02)			
	T6	400	36,94d (2,66)	18,22d (6,06)	20,72a (8,50)	27,59d (7,35)	48,66c (2,02)			
	T7	600	37,53d (3,14)	19,42be (5,66)	20,47a (8,02)	28,22d (6,66)	46,50d (2,67)			

As médias seguidas pela mesma letra em cada coluna, dentro de cada tratamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Os valores apresentados entre parênteses referem-se ao desvio padrão. (*) = Classificação da variação da cor proposta por Hikita et al., (2001) baseada em níveis de percepção. (**) = Cor da madeira, segundo classificação proposta por Camargos e Gonzalez (2001).

Para a madeira de maçaranduba é possível observar (Tabela 14), que os parâmetros mostram uma variação mais intensa de seus valores. Para as amostras que não receberam produtos de acabamento (testemunha), a variação colorimétrica (ΔE) foi menor, sendo classificada como apreciável, no qual a cor inicial que era vermelha passou a ser oliva. Já para amostras tratadas com verniz comum, foi observado uma maior variação de cor ao longo do experimento, classificada como muito apreciável.

Assim como ocorrido nas amostras sem produtos de acabamento, a cor inicial vermelha passou a ser oliva. É interessante observar que para a testemunha, a claridade (L*) da madeira depois de um certo tempo, tende a igualar a claridade inicial. A alteração da cor neste caso, é devido ao aumento da coordenada b* (amarela), em composição com a pigmentação vermelha (a*), que resulta na cor oliva. Já para o tratamento com verniz

comum, a claridade diminui, com aumento da coordenada a^* positivo (vermelha) e diminuição da coordenada b^* (amarela), resultando na cor oliva. Para este caso a variação dos parâmetros colorimétricos foi mais acentuada, havendo uma variação entre estes de forma muito apreciável.

Pastore et al., (2004) em trabalho utilizando amostras de maçaranduba submetidas ao intemperismo artificial observaram comportamento semelhante ao encontrado neste trabalho, no qual, nas primeiras 20 horas ocorre a variação progressiva, principalmente dos cromóforos amarelos (b^*).

SOUZA, (1997); PASTORE et al., (2004), afirmam que a maçaranduba possui boa resistência às intempéries, corroborando pelos resultados desse trabalho, com madeiras de ipê e maçaranduba que apresentaram as maiores estabilidades dos principais parâmetros colorimétricos.

Ao analisar os resultados de colorimetria para maçaranduba, observou-se que o intemperismo natural foi mais agressivo no que diz respeito à degradação superficial, quando comparado com o intemperismo artificial. Em trabalho similar, onde experimentos de intemperismo natural e artificial foram utilizados, Pereira et al (2017)., também observaram maior agressividade no processo de intemperismo natural.

Comparando-se o comportamento desta espécie frente ao intemperismo natural e artificial dos tratamentos testemunhas e verniz comum, observa-se que a variação dos parâmetros colorimétricos (ΔE) é maior para o intemperismo natural. Pode-se supor que no caso do intemperismo natural, todas as variações existentes no meio onde está inserido a madeira são captadas, ao contrário, no artificial, apesar de ser normatizado o ensaio, nem sempre consegue reproduzir de forma fiel as condições naturais.

Além disso, as condições exibidas em normas para o ensaio, são medias para a região onde está inserido o experimento (as condições de luz, temperatura e umidade, são ajustadas nas faixas que a norma contém). Por outro lado os resultados sugerem que os tempos dos ciclos de intemperismo artificial utilizados no trabalho não foram suficientes para atingir os tempos equivalentes ao intemperismo natural.

4.1.3. Comparação entre intemperismo natural e artificial

As análises comparativas entre intemperismo natural e artificial levaram em consideração a correlação colorimétricas de cada ensaio para avaliar o quanto o ensaio de intemperismo artificial acelerado pode corresponder ao ensaio de intemperismo natural. A análise foi feita para cada espécie e corresponde às condições de intemperismo natural descritas no Apêndice 1, e a norma utilizada para o ensaio de intemperismo artificial ASTM G154 de ciclo 7 descritas na Tabela 2. As análises foram feitas utilizando as madeiras testemunhas e tiveram como base os resultados de colorimetria das madeiras testadas.

Para os ensaios utilizando a madeira de cedro, os resultados colorimétricos do intemperismo natural no ciclo de 62 dias foram os mais aproximados do ensaio de intemperismo artificial de 400 horas. Indicando que um dia de intemperismo artificial corresponde a aproximadamente 4 dias de intemperismo natural, para as condições específicas do ensaio e para a madeira de cedro.

Para os ensaios utilizando a madeira de ipê. Os parâmetros colorimétricos do intemperismo natural no ciclo de 14 dias foram os mais aproximados do ensaio de intemperismo artificial de 600 horas. Indicando que um dia de intemperismo artificial corresponda a aproximadamente 2 dias de intemperismo natural. Por ser uma madeira mais escura e densa pode haver essa menor variação entre o tempo de intemperismo artificial e natural. Esta espécie (ipê) naturalmente é mais resistente quando comparada com outras madeiras do trabalho em questão, podendo ser uma das causas desta menor variação.

Os parâmetros colorimétricos da madeira de marupá submetidas ao intemperismo artificial no ciclo de 96 horas foi bem próximo aos resultados colorimétricos de intemperismo natural no ciclo de 31 dias, indicando assim que para a madeira em questão e nas condições climáticas e norma utilizada nos ensaios de intemperismo, 1 dia de intemperismo artificial corresponde a aproximadamente 8 dias de intemperismo natural.

A madeira de maçaranduba submetida ao intemperismo artificial atingiu em 400 horas de ensaio parâmetros colorimétricos muito próximos a madeira de maçaranduba submetida ao intemperismo natural após 62 dias de ensaio. Indicando assim que 1 dia de intemperismo artificial para a madeira em questão corresponde a aproximadamente 4 dias de intemperismo natural.

É possível inferir com os resultados obtidos que madeiras mais claras e de menor densidade sofrem variação colorimétrica de maneira mais rápida ao comparadas com madeiras escuras e de maior densidade. Os resultados obtidos dizem respeito a locais específicos onde os ensaios de intemperismo natural foram executados, bem como a norma específica utilizada em laboratório e em relação as espécies estudadas.

4.2 ANÁLISES DE RUGOSIDADE

4.2.1 Rugosidade das espécies submetidas ao ensaio de intemperismo natural.

A Tabela 15 apresenta os dados de rugosidade média (Ra) das amostras de cedro, ipê, jequitibá, marupá e de maçaranduba submetidas ao intemperismo natural, analisadas por ciclo, de acordo com a Tabela 4 (material e métodos).

Tabela 15. Valores médios das de rugosidades (Ra) das amostras de madeiras de cedro, ipê, jequitibá, marupá e de maçaranduba submetida ao intemperismo natural.

NATURAL(Ra)	Ciclo	Dias	cedro	ipê	jequitibá	marupá	maçaranduba
Testemunha	T1	0	5.61a (2,05)	3.97a (0,86)	4.45a (1,23)	6.43a (1,79)	3.29a (0,45)
	T2	7	7.52b (2,51)	6.14ab (1,86)	6.21b (1,16)	9.15b (2,09)	4.57b (0,71)
	T3	14	8.29ab (2,23)	7.04b (1,76)	6.50b (1,71)	9.84bc (1,56)	5.24bc (0,79)
	T4	31	8.69b (2,76)	8.14b (2,23)	7.45b (2,08)	9.30b (2,21)	5.91c (0,64)
	T5	62	12.64c (3,29)	11.62c (1,93)	9.71c (1,67)	12.03c (2,70)	9.27d (1,29)
	T6	124	16.38d (3,32)	14.72d (3,02)	11.55d (1,87)	15.90d (3,43)	12.86e (1,74)
Verniz comum	T1	0	4.12a (1,23)	3.08a (0,67)	3.61a (0,92)	6.20a (1,97)	2.40a (0,50)
	T2	7	4.92a (0,93)	5.25ab (1,98)	5.10b (1,07)	7.30a (1,62)	3.60b (0,56)
	T3	14	5.45a (1,34)	6.00bc (2,51)	5.67b (0,89)	8.19ab (1,75)	4.82c (0,79)
	T4	31	5.68a (1,32)	7.59bc (2,49)	5.79b (0,82)	7.34a (1,70)	5.27c (0,96)
	T5	62	9.33b (2,65)	8.24c (3,12)	7.99c (1,10)	9.75b (2,32)	6.65d (1,05)
	T6	124	13.81c (2,59)	12.35d (2,74)	10.38d (1,46)	16.80c (2,33)	8.68e (1,23)
Verniz marítimo	T1	0	2.27a (0,80)	2.24a (0,86)	2.26a (0,98)	3.48a (1,35)	1.88a (0,51)
	T2	7	2.45a (0,89)	1.94a (0,64)	2.32a (1,12)	3.94a (1,60)	1.92a (0,49)
	T3	14	2.67a (0,74)	1.77a (0,23)	2.13a (0,69)	3.80a (1,68)	2.05a (0,42)

T4	31	2.68a (0,63)	2.20a (0,88)	2.72a (0,92)	3.17a (1,20)	2.43a (0,56)
T5	62	2.81a (0,88)	4.01b (1,35)	2.66a (0,63)	2.74a (1,22)	3.93b (1,51)
T6	124	10.18b (2,63)	10.24c (2,22)	9.82b (1,36)	11.47b (3,05)	9.18c (1,42)

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula em cada coluna, dentro de cada tratamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Os valores apresentados entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Analisando-se a Tabela 15, verifica-se para todas as espécies e todos os tratamentos, um aumento do parâmetro Ra, do início ao final do experimento, de forma gradual, indicando assim o aumento da rugosidade superficial das amostras com a evolução do ciclo de intemperismo.

Observa-se para todas as espécies tratadas com produtos de acabamento (verniz comum e verniz marítimo) valores reduzidos na rugosidade inicial das amostras quando comparadas com suas testemunhas. As espécies mais escuras e com maior densidade apresentaram a rugosidade média inicial menor que as demais espécies, sendo um possível indício de que características químicas e anatômicas dessas espécies contribuem para a menor rugosidade das mesmas.

Para todas as amostras ensaiadas, ocorreu o aumento significativo da rugosidade média a medida que se seguiam os ciclos, porém, para amostras tratadas com verniz marítimo esse aumento foi menor, indicando que o verniz marítimo é o produto que mais protegeu a superfície das amostras em relação a rugosidade.

O aumento do parâmetro de rugosidade média para todas as amostras, em todas as espécies se deu entre o 62º ao 124º dia de experimento, período este que corresponde ao ciclo mais longo do experimento (Tabela 4).

É observado nas Figuras 21, 22, 23, 24 e 25 o perfil de rugosidade médio para amostras antes e após o período de intemperismo natural, sem tratamento(A), tratadas com verniz comum(B) e verniz marítimo(C). Percebe-se o aumento do perfil de rugosidade em todos os tratamentos após o ensaio, no qual as amostras possuem os picos de rugosidade tendendo a estar próximo de -100 micrómetros (um), indicando o maior nível de rugosidade quando comparado com amostras antes do processo de intemperismo.

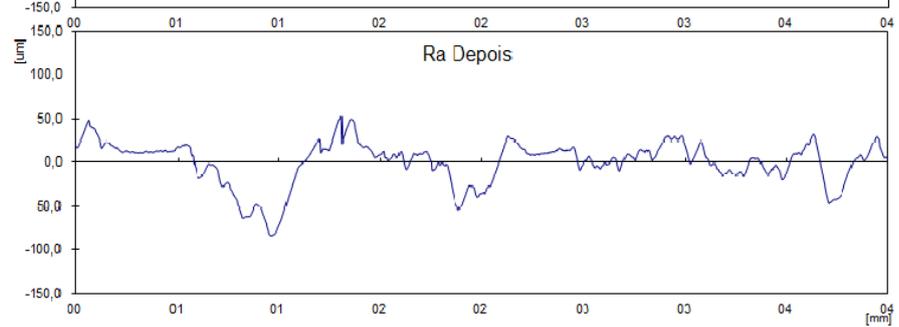
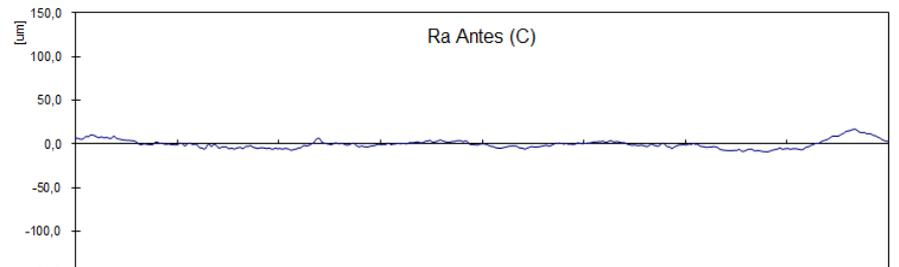
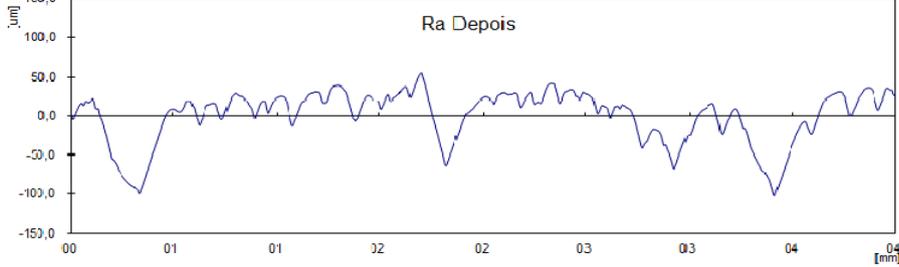
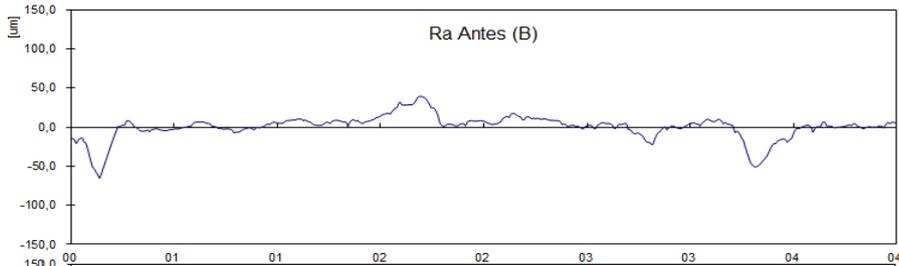
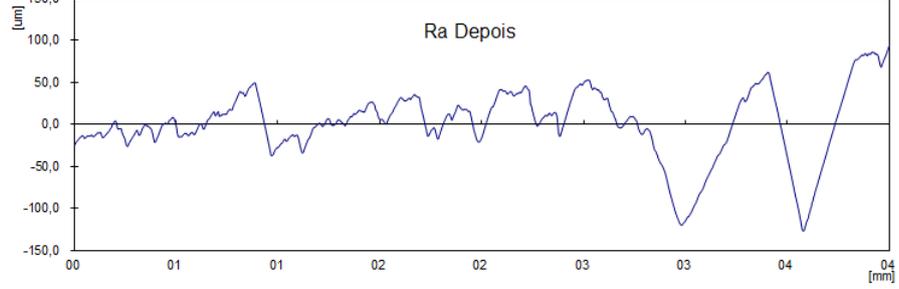
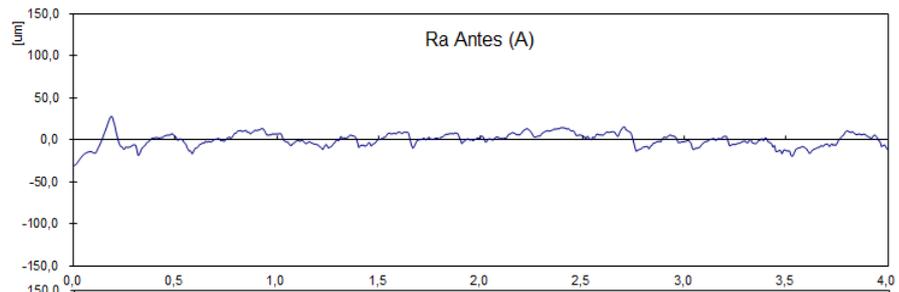
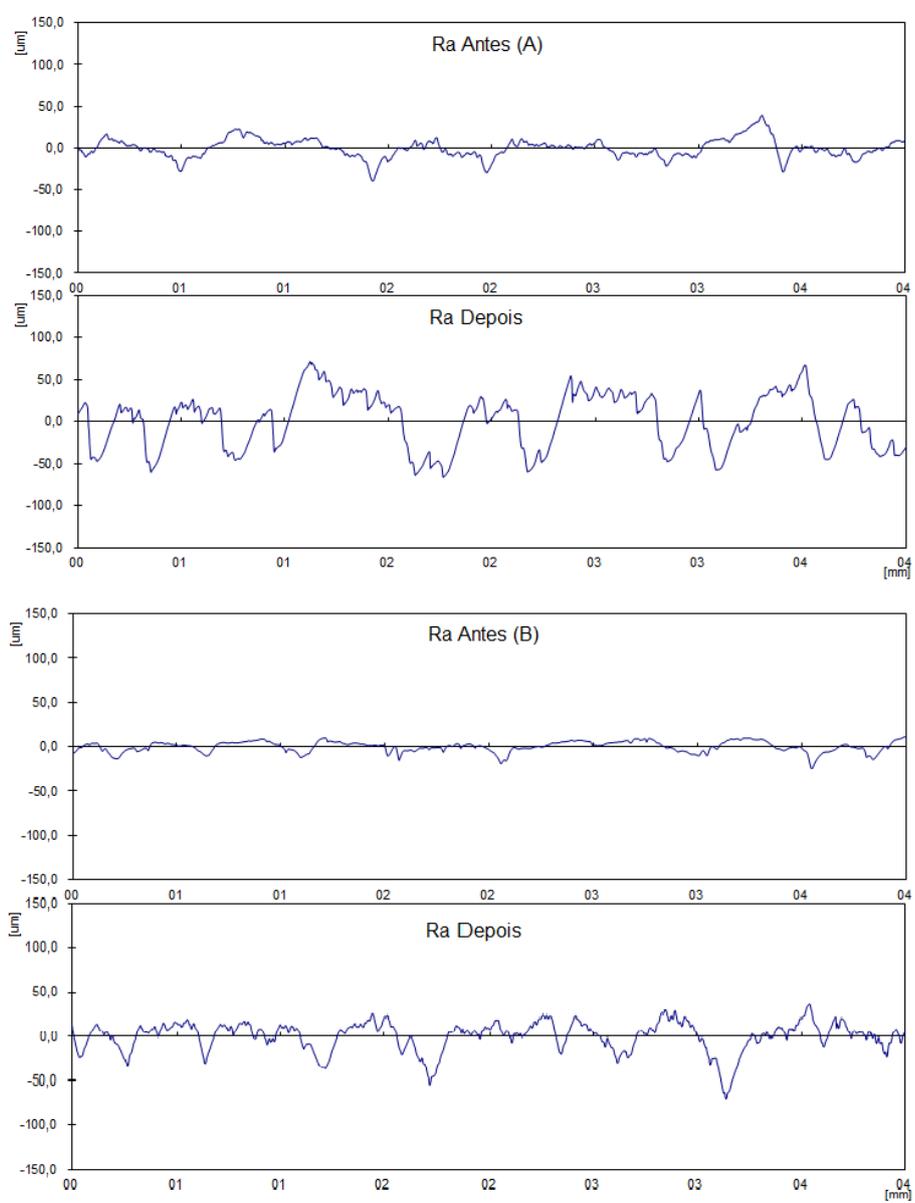


Figura 21. Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de cedro submetidas ao intemperismo natural, conforme tratamentos aplicados.



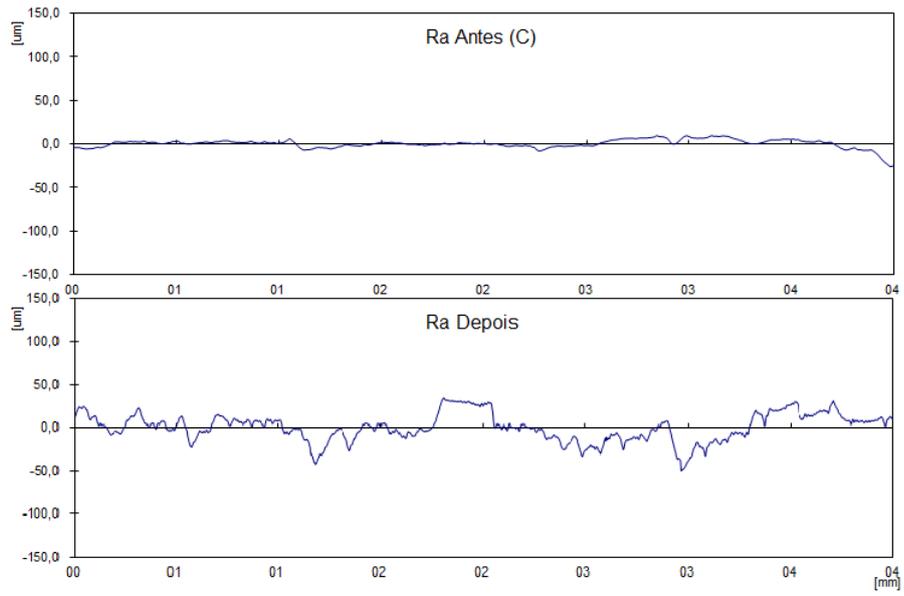
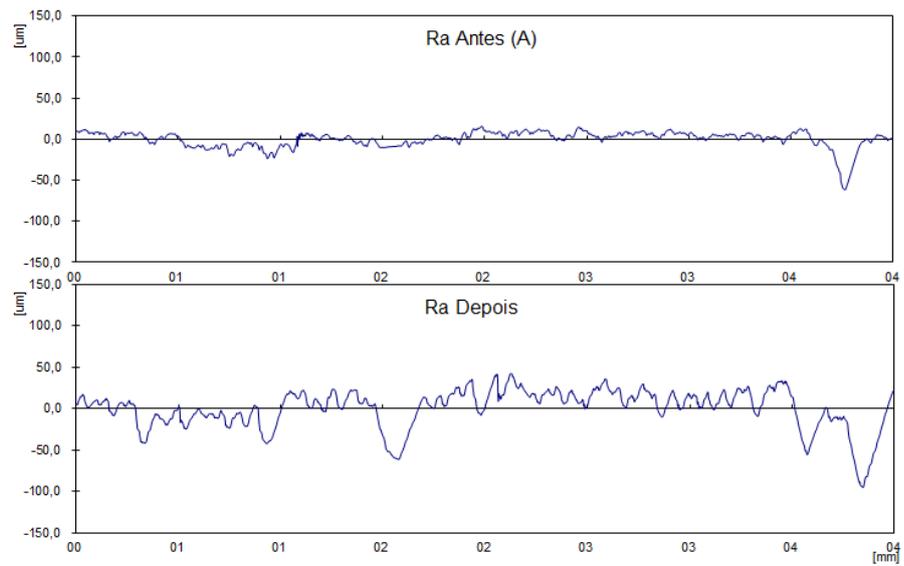


Figura 22. Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de Ipê submetidas ao intemperismo natural, conforme tratamentos aplicados.



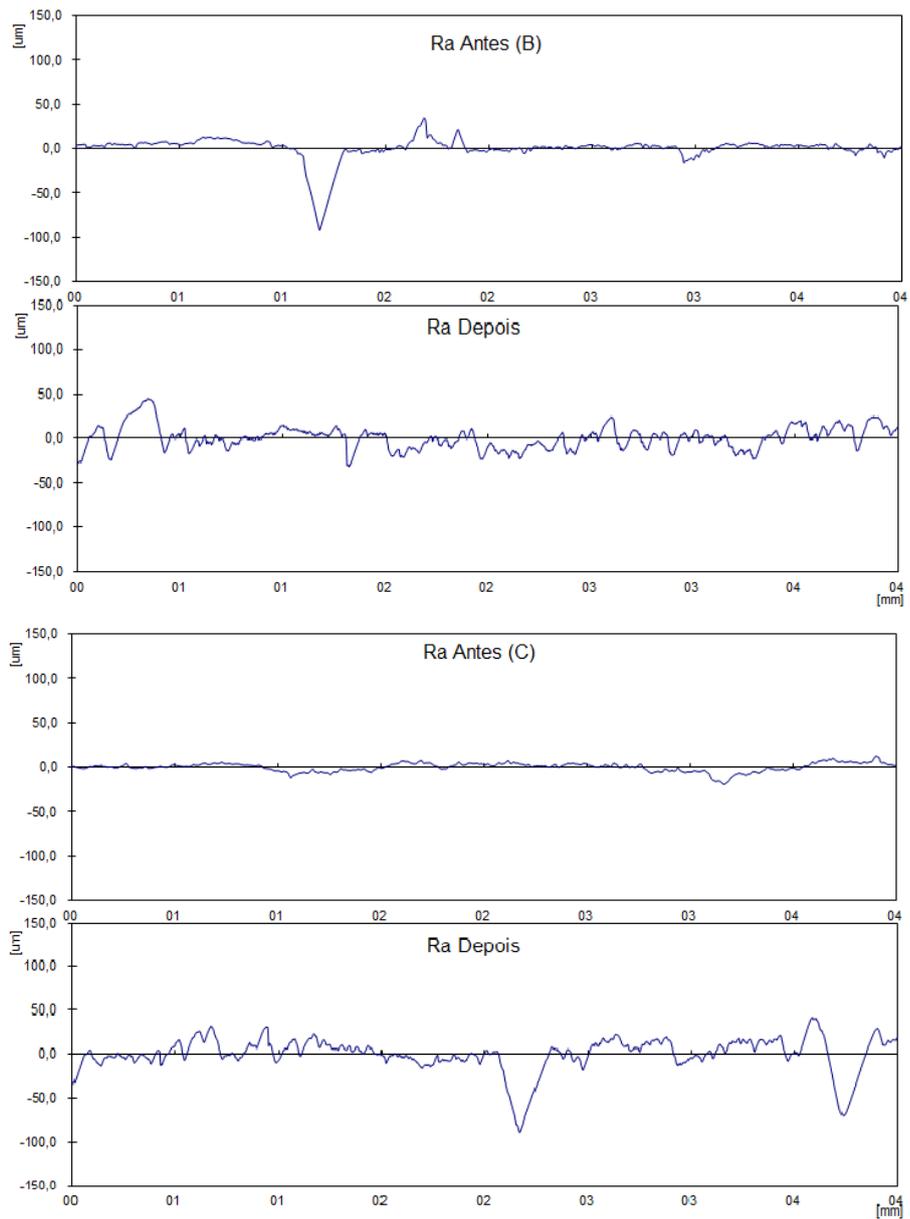


Figura 23. Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de Jequitibá submetidas ao intemperismo natural, conforme tratamentos aplicados.

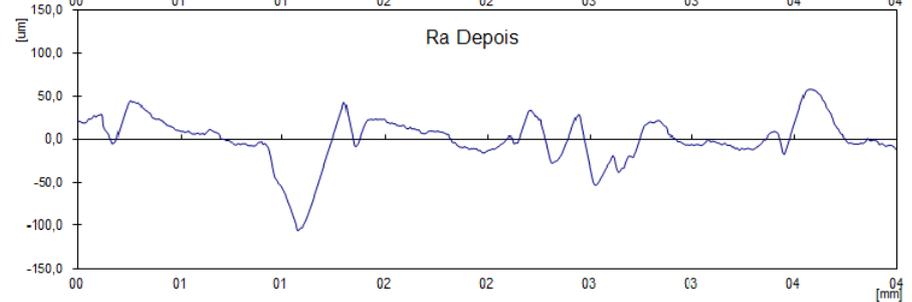
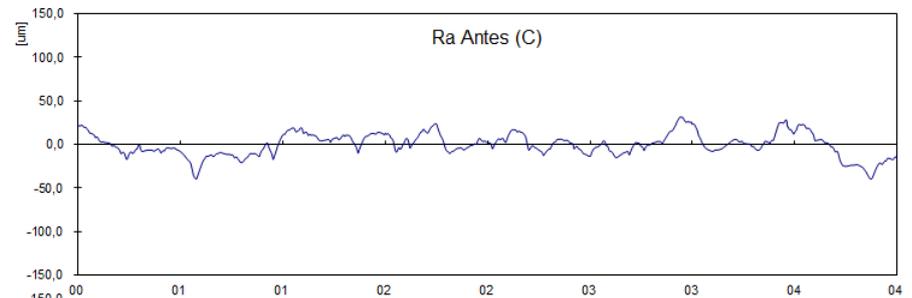
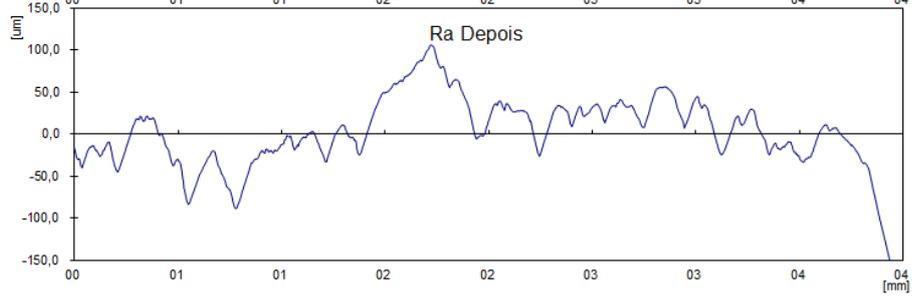
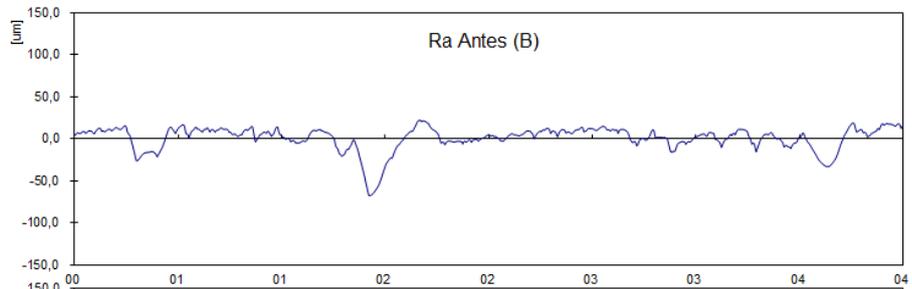
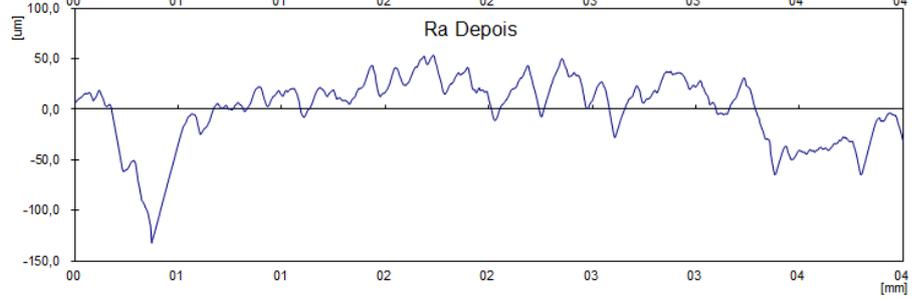
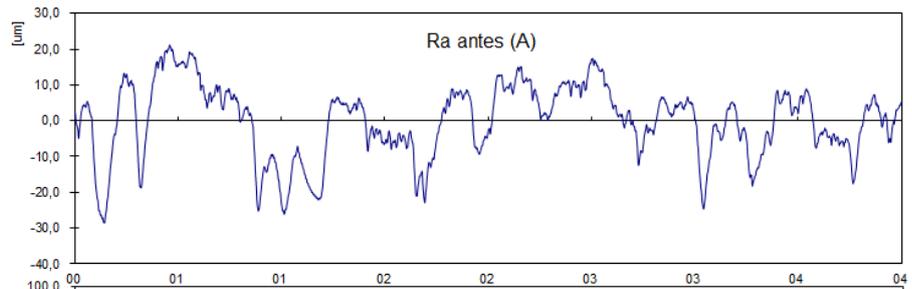
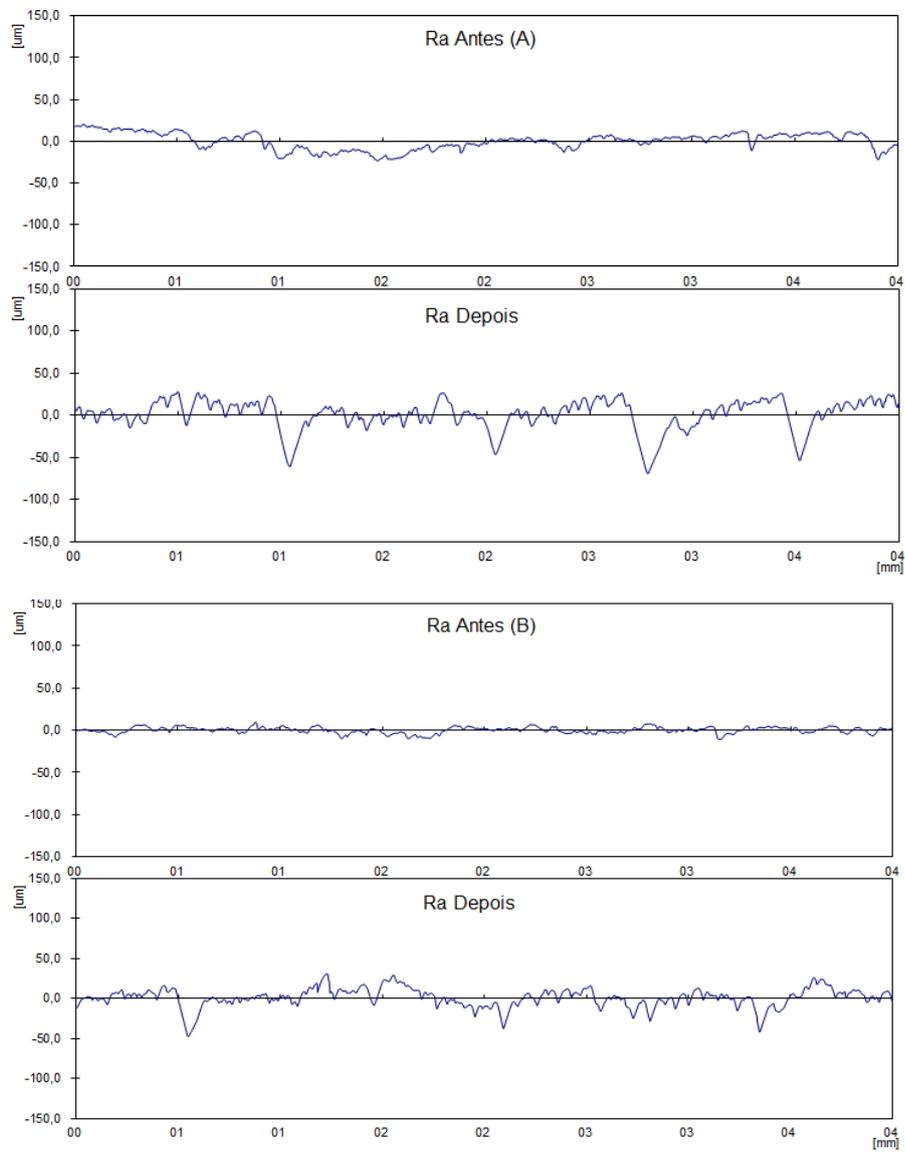


Figura 24. Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de Marupá submetidas ao intemperismo natural, conforme tratamentos aplicados.



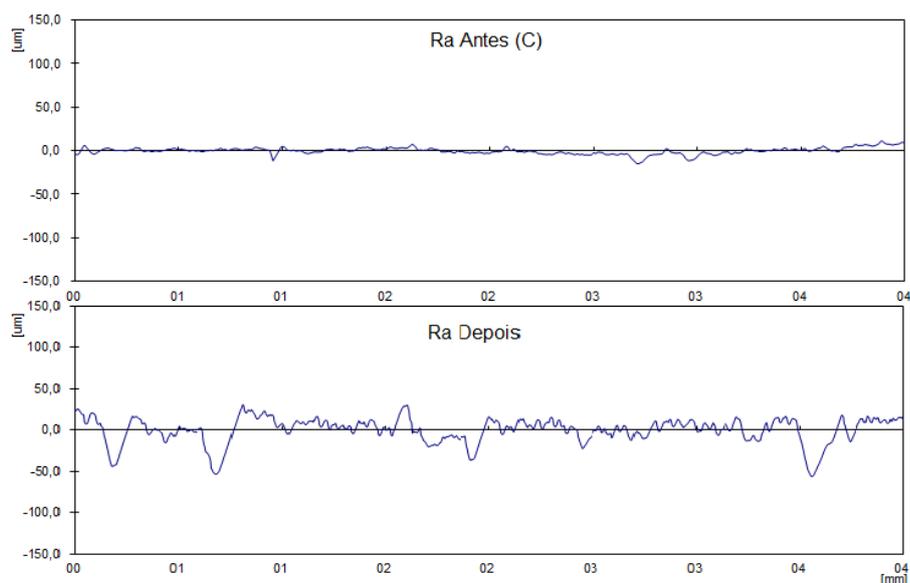


Figura 25. Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de Maçaranduba submetidas ao intemperismo natural, conforme tratamentos aplicados.

Em estudo no qual buscou avaliar a durabilidade natural da madeira de cinco espécies amazônicas submetidas ao intemperismo natural, SILVA (2015), encontrou, para amostras de cedro, valores finais de rugosidade próximos ao encontrado neste trabalho. Ao final de 120 dias de intemperismo natural, sem produtos de acabamentos, o autor encontrou um Ra de 12,19, semelhante ao encontrado neste trabalho ao final do período de 62 dias. Isso mostra que as condições climáticas dos locais em que são realizados os experimentos podem influenciar na rugosidade da madeira dependendo do período de exposição.

4.2.2 Rugosidade das espécies submetidas ao ensaio de intemperismo artificial.

A Tabela 16. Apresenta a rugosidade média (Ra) das madeiras estudadas submetidas ao intemperismo artificial.

Tabela 16. Rugosidade média (Ra) das amostras de madeiras de cedro, ipê, jequitibá, marupá e de maçaranduba submetidas ao intemperismo artificial.

ARTIFICIAL(Ra)	Ciclo	Dias	cedro	ipê	jequitibá	marupá	maçaranduba
Testemunha	T1	0	5.04a (1,08)	3.32a (1,04)	3.86a (0,66)	4.77a (1,30)	2.74a (0,29)
	T2	1	3.56a (0,58)	3.48a (0,33)	3.91a (1,79)	5.28b (2,13)	3.18ab (0,96)
	T3	2	4.12a (1,56)	4.59b (1,45)	4.41ab (0,97)	5.55b (2,14)	3.44ab (0,24)

	T4	4	4.48a (0,44)	4.85b (1,50)	4.46ab (0,75)	7.09c (2,16)	3.50ab (0,36)
	T5	8	4.58a (0,83)	4.51b (3,54)	5.91b (1,22)	7.23c (1,57)	3.61ab (0,15)
	T6	16	5.71a (1,94)	5.83b (0,87)	6.09c (1,14)	7.87cd (1,02)	3.93ab (0,68)
Verniz comum	T1	0	3.92a (0,76)	3.29a (1,27)	3.04a (0,16)	3.98a (0,22)	2.04a (1,24)
	T2	1	3.19a (0,58)	3.77a (2,15)	3.52a (0,72)	5.21b (1,13)	2.65a (0,76)
	T3	2	3.53a (0,54)	3.53ab (0,28)	4.30ab (1,14)	5.46bc (0,31)	2.67a (0,28)
	T4	4	3.67a (1,20)	4.63b (0,65)	4.90b (1,56)	7.48c (1,20)	2.89a (0,03)
	T5	8	3.99a (0,61)	5.89b (0,67)	4.94b (1,43)	7.53c (0,86)	3.2ab (0,20)
	T6	16	4.11a (0,69)	5.71b (1,20)	5.48c (1,78)	8.17d (1,29)	4.49ab (1,17)
	Verniz marítimo	T1	0	4.28a (1,05)	3.74a (1,16)	2.16a (0,56)	2.26a (0,15)
T2		1	4.51a (0,58)	2.25a (0,79)	2.30a (0,86)	3.20ab (1,23)	2.79a (0,55)
T3		2	3.78a (0,10)	2.46a (0,48)	2.31a (0,85)	3.80ab (0,82)	2.89a (0,04)
T4		4	3.69a (1,36)	2.00a (0,53)	2.49a (0,87)	4.01c (1,29)	2.92a (1,54)
T5		8	3.94a (1,89)	2.49a (1,78)	2.89a (0,45)	5.35cd (2,18)	3.60a (0,28)
T6		16	3.23a (0,91)	5.20b (0,66)	3.10b (0,66)	6.60d (0,32)	4.08b (2,02)

As médias seguidas pela mesma letra em cada coluna, dentro de cada tratamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Os valores apresentados entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Conforme mostrado na Tabela 16, para todas as espécies e tratamentos, observa-se um aumento da rugosidade no parâmetro Ra das amostras, desde o início até o final do experimento.

Quando comparado com as suas testemunhas, a utilização de produtos de acabamento (Verniz comum e Verniz marítimo) provocou uma ligeira redução da rugosidade inicial da amostra. A rugosidade das espécies mais escuras e com maior densidade (maçaranduba e ipê) foi inicialmente menor que a das demais, sugerindo que características químicas e anatômicas dessas espécies contribuem para a menor rugosidade da espécie, assim como observado para amostras ensaiadas no processo de intemperismo natural.

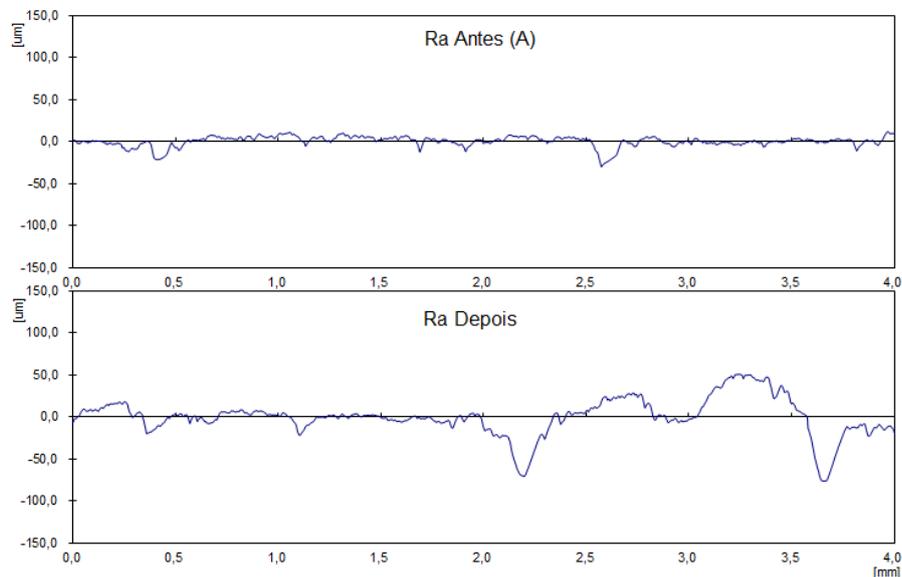
Assim, em todas as amostras ensaiadas, houve um aumento significativo na rugosidade média. Porém, em comparação aos demais tratamentos, esse aumento foi menor,

indicando que o verniz marítimo é o produto que melhor protegeu a superfície da madeira considerando o parâmetro rugosidade. Este resultado foi semelhante para o intemperismo natural.

O aumento médio da rugosidade para todas as amostras e espécies ocorreu de forma gradual e não variando significativamente, indicando que o ensaio de intemperismo artificial adotado não foi tão agressivo quando comparado com o ensaio de intemperismo natural.

As figuras de 26 a 30 apresentam os perfis de rugosidades médios para amostras antes e após o período de intemperismo artificial, sem tratamento(A), tratadas com verniz comum(B) e verniz marítimo(C).

A figura 26 apresenta o perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de cedro submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados, no qual 26 (A) representa madeiras testemunhas, (B) tratadas com verniz comum e (C) tratadas com verniz marítimo.



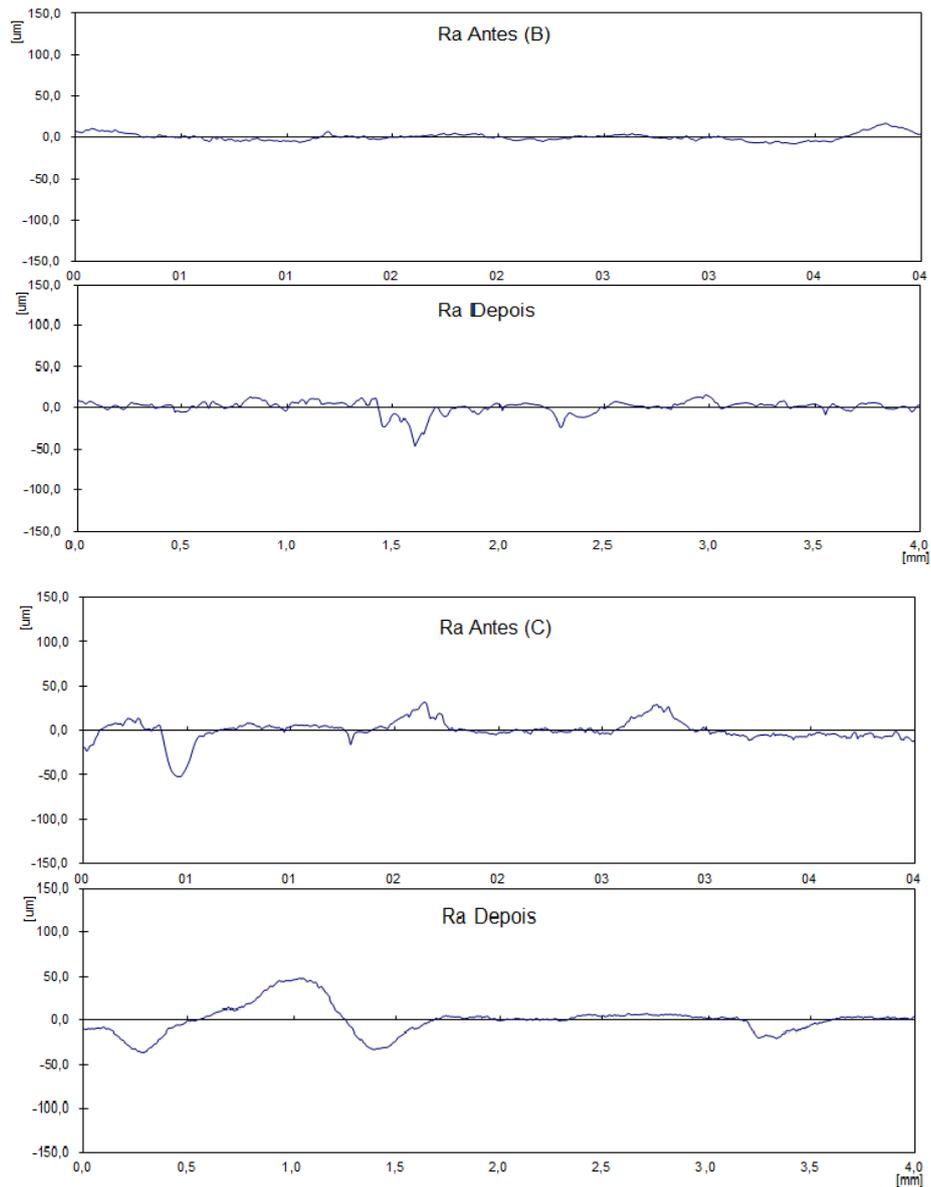
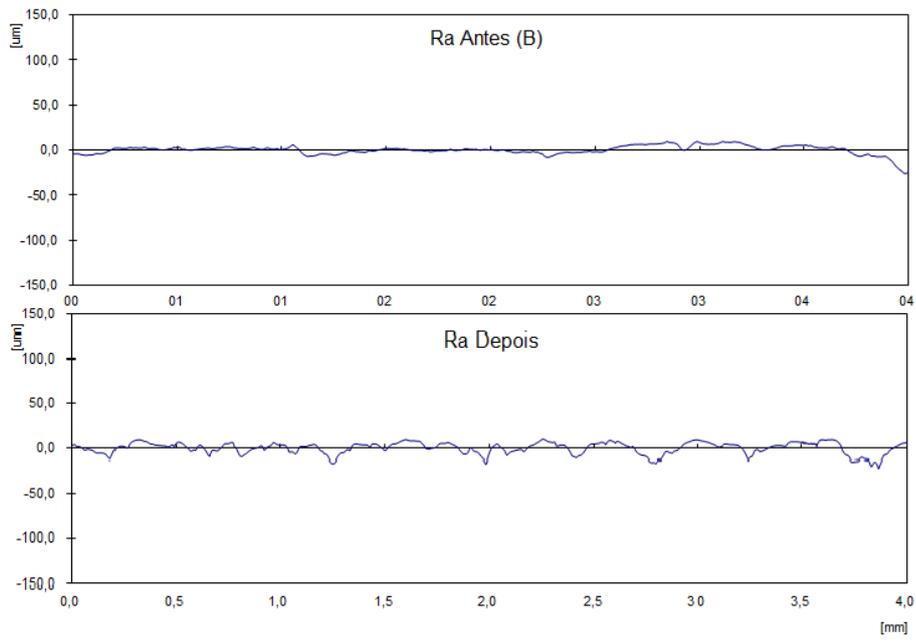
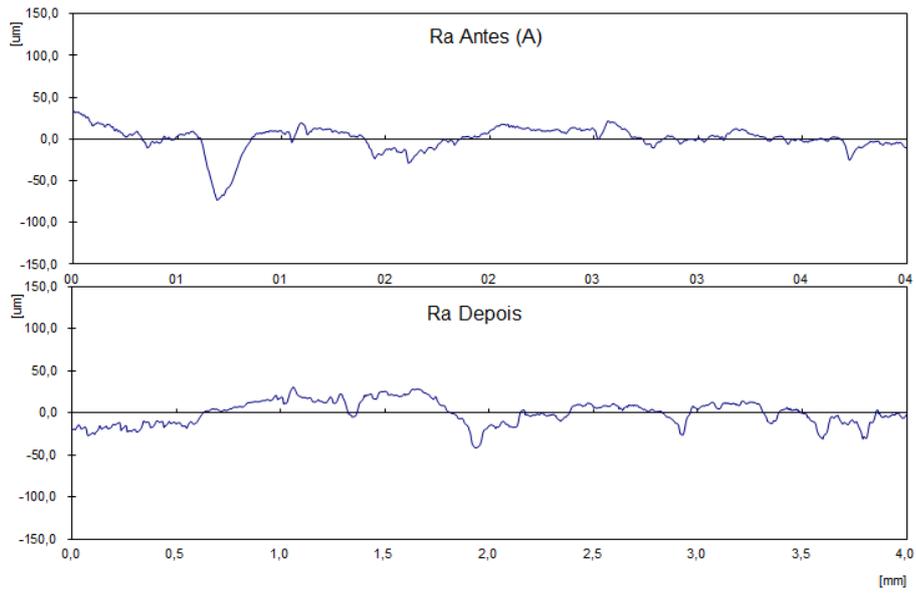


Figura 26. Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de cedro submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados.

A figura 27 apresenta o perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de ipê submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados, no qual; (A) representa madeiras testemunhas, (B) tratadas com verniz comum e (C) tratadas com verniz marítimo.



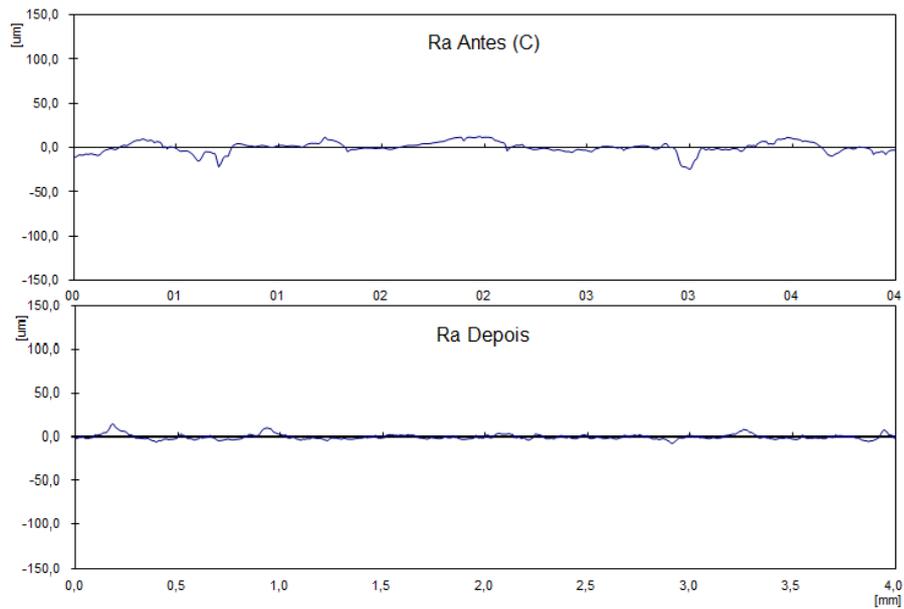
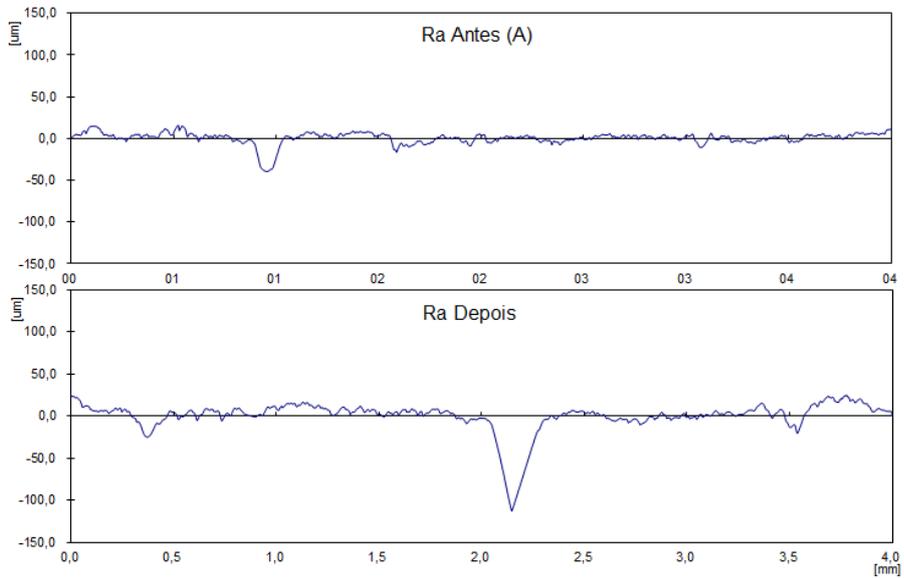


Figura 27. Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de Ipê submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados.

A figura 28 apresenta o perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de jequitibá submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados, no qual; (A) representa madeiras testemunhas, (B) tratadas com verniz comum e (C) tratadas com verniz marítimo.



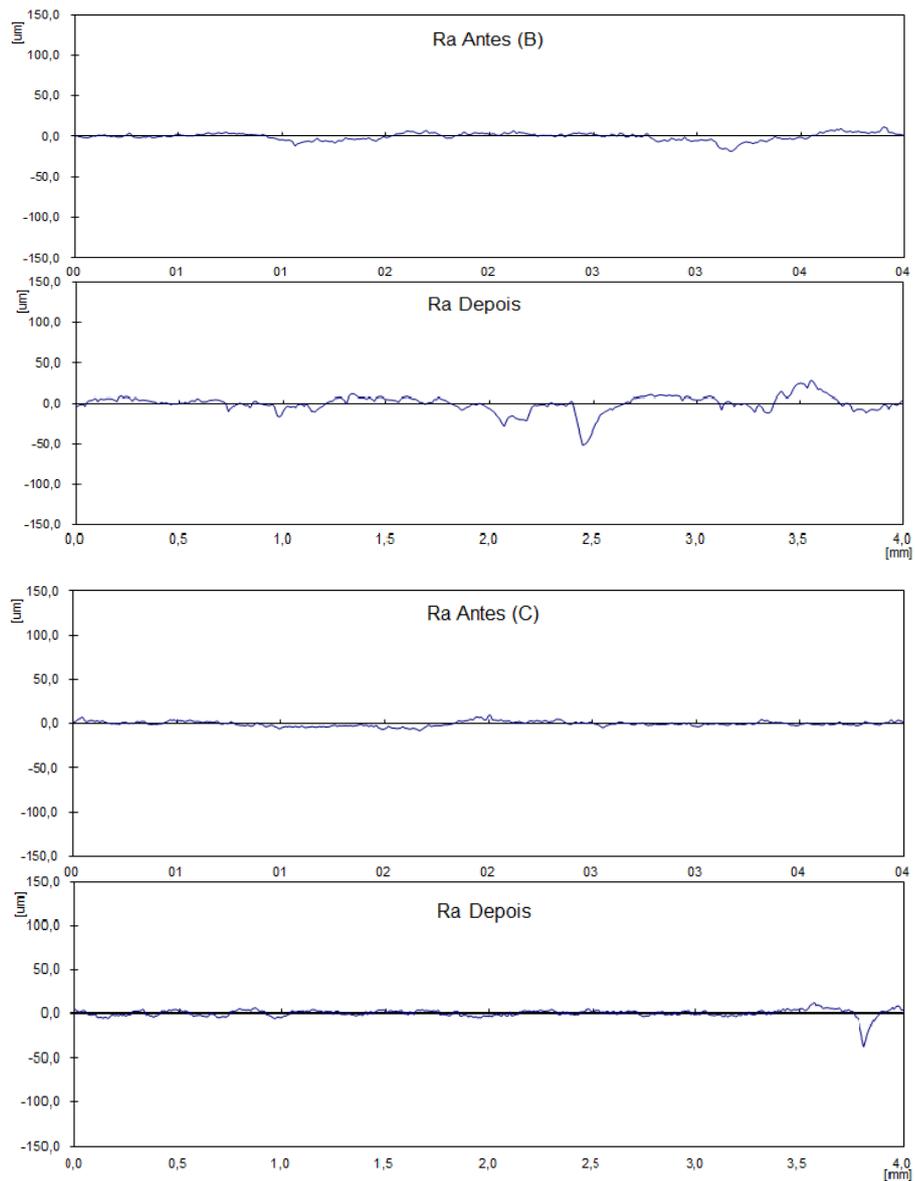


Figura 28. Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de Jequitibá submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados.

A figura 29 apresenta o perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de marupá submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados, no qual; (A) representa madeiras testemunhas, (B) tratadas com verniz comum e (C) tratadas com verniz marítimo.

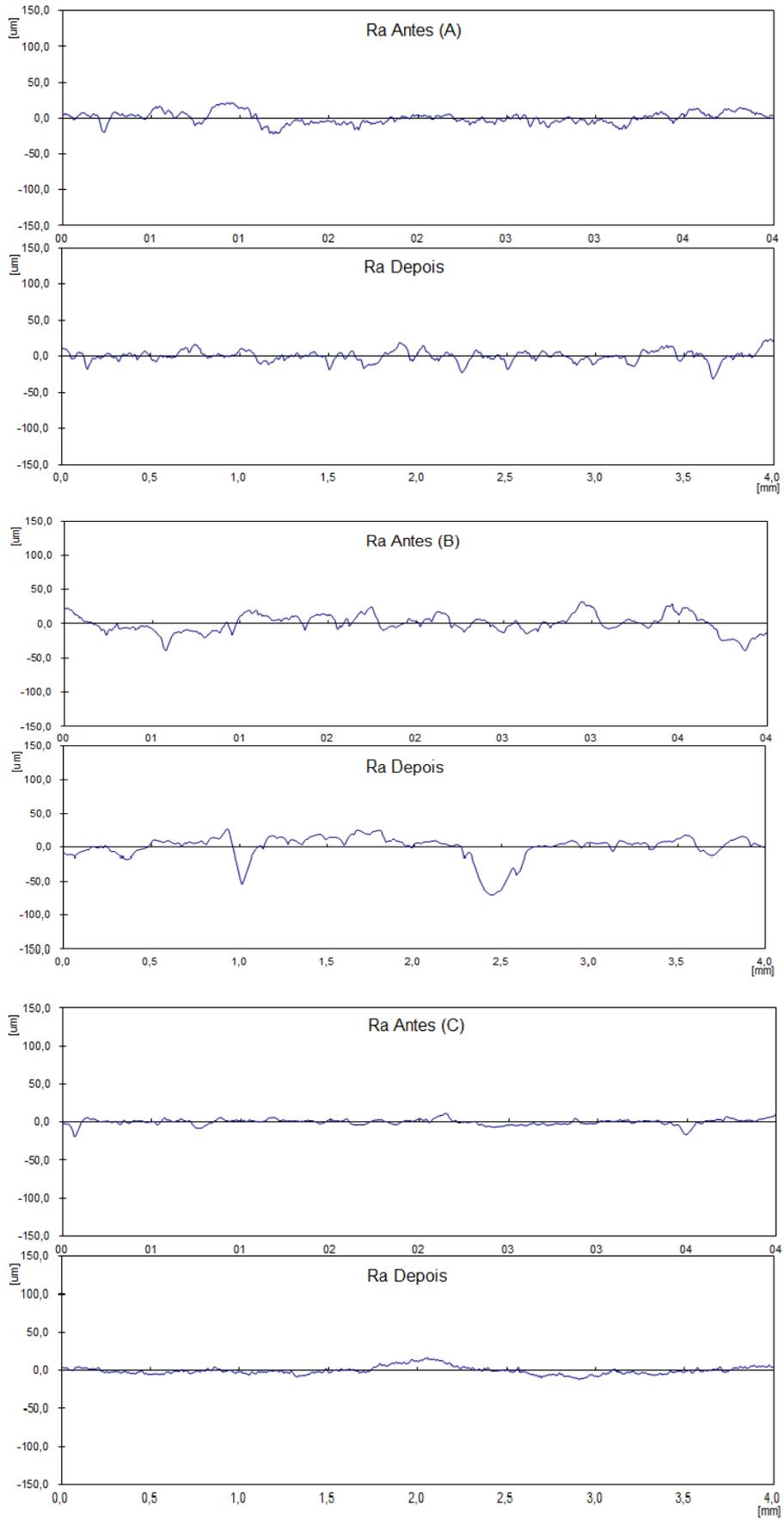
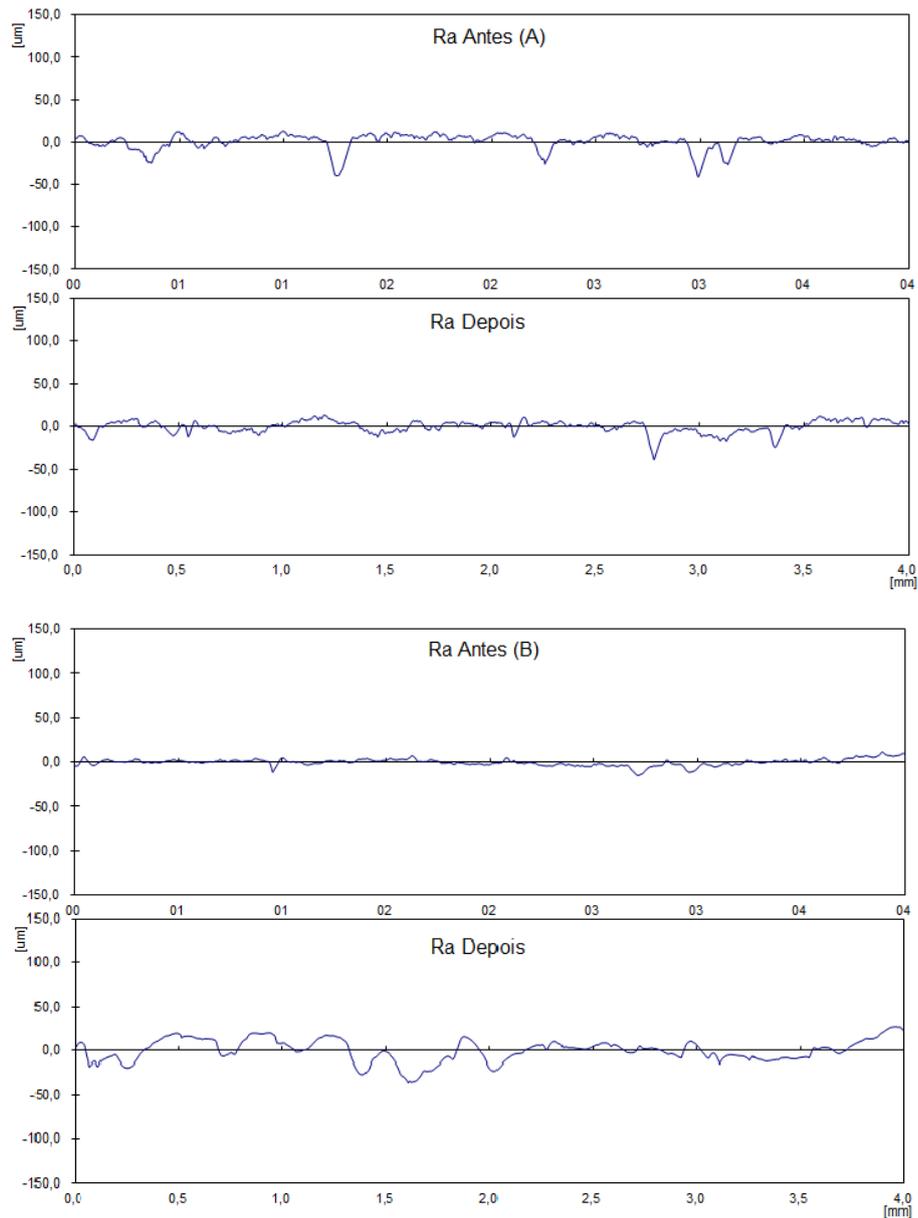


Figura 29. Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de marupá submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados.

A figura 30 apresenta o perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de maçaranduba submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados, no qual; (A) representa madeiras testemunhas, (B) tratadas com verniz comum e (C) tratadas com verniz marítimo.



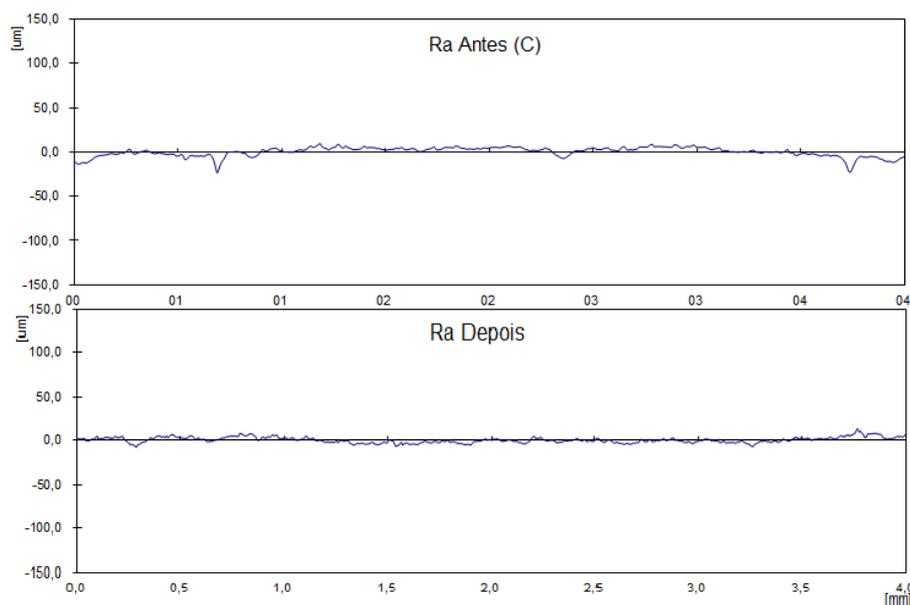


Figura 30. Perfil de rugosidade média (Ra) das madeiras de maçaranduba submetidas ao intemperismo artificial, conforme tratamentos aplicados.

Em trabalhos similares, utilizando madeira de cedro e marupá, Leão et al. (217) e Silva (2022) não encontraram valores significativos de variação de rugosidade, corroborando com os resultados obtidos neste trabalho. Apesar da variação gradual de rugosidade encontrada neste trabalho, estas na maioria dos tratamentos, não foram significativas.

NEVES (2019), analisando a variação da rugosidade da madeira de cedro pelo processo de intemperismo artificial encontrou valores inferiores de rugosidade média, nos períodos próximos ao deste trabalho, provavelmente por diferenças de tratamento superficial ou programação adotada no ensaio de intemperismo.

A aplicação dos produtos de acabamento (Verniz comum e marítimo) resultou numa ligeira melhoria no desempenho da madeira, entretanto, com o passar do tempo, as madeiras tratadas com os produtos apresentaram comportamento superior à amostra não tratada (testemunha), devido ao fato de formarem uma película impermeável na superfície da amostra, amenizando assim, a rugosidade.

4.3 ANÁLISES DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA- MEV

A análise de MEV foi realizada na superfície amostral das testemunhas (sem tratamento), tratadas com verniz comum e marítimo antes e após o intemperismo natural. Foram obtidos para cada tratamento imagens com resoluções de 30, 100, 500 e 1000 vezes. As imagens a seguir, apresentam a face tangencial das madeiras utilizadas no experimento, de acordo com os tratamentos estudados.

4.3.1 Espectroscopia Eletrônica de varredura da madeira de cedro

A Figura 31 apresenta a face tangencial da madeira de Cedro, sem tratamento, antes do processo de intemperismo natural com aumento de 30X.

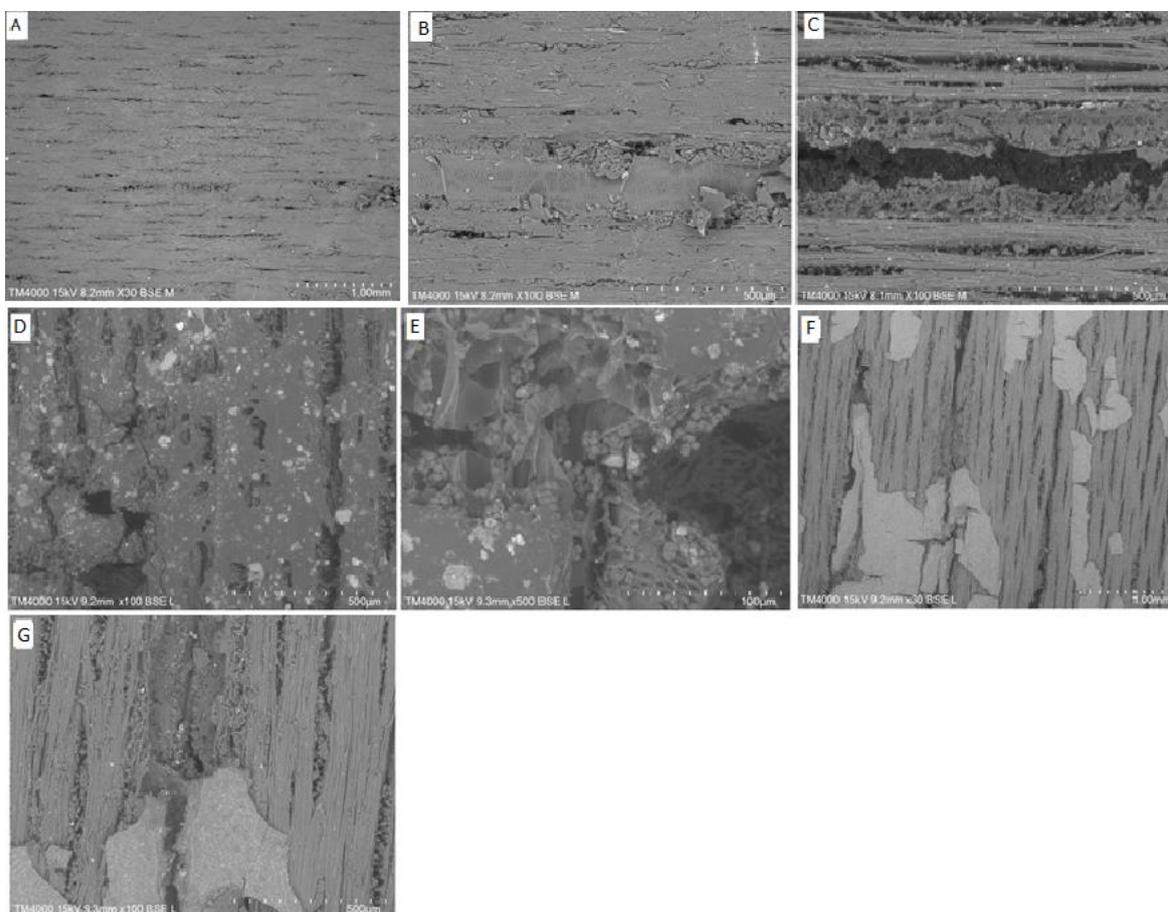


Figura 31. Face tangencial da madeira de Cedro, sem tratamento, tratada com verniz comum e verniz marítimo, antes do processo de intemperismo natural.

A Figura 31 (A) mostra a madeira de cedro bem integra, com presença de fibras intactas, que são os componentes anatômicos mais visíveis na seção, sem processo de degradação.

A Figura 31 (B e C), com aumento de 100x, apresenta a parede de vaso intacta e sem ação de degradação (B) e após o processo de intemperismo, no qual se observa a deterioração da parede do vaso (C). É evidente a ação do intemperismo neste elemento anatômico, deixando a madeira mais susceptível tanto a sua resistência como a possível entrada de xilófagos.

Na Figura 31 D e E, com aumento de 100x e 500x, mostra a madeira de cedro, antes e após o processo de intemperismo natural (D e E, respectivamente), tratada com verniz comum. É perceptível o efeito da degradação no produto aplicado, no qual ocorreu o rompimento da película com exposição e reentrâncias na amostra, tornando porta de entrada para ação das intempéries e de organismos xilófagos. Em imagem mais aproximada de 500X, na Figura 31 (E), é detectado a presença de estruturas esféricas acopladas aos componentes anatômicos da madeira, supondo ser presença de organismo xilófagos, devido ao formato de sua estrutura e disposição em “colônias”.

Para amostras tratadas com verniz marítimo, também ocorreram a degradação da película do produto, como mostra a Figura 31. No entanto, a degradação é menos intensa. Com o aumento de 30x, é observado resquícios da película do produto (F), disperso em placas ao longo da superfície da amostra. Ao analisar a imagem com aumento de 100X (G), foi percebido também a presença de agentes xilófagos de forma esférica, criando colônias na superfície da amostra tratada com verniz marítimo, após o processo de intemperismo.

Para a espécie cedro, submetida ao intemperismo natural, verificou-se de uma forma geral, que mesmo tratada com produtos de acabamentos, após um certo tempo, a madeira tende a sofrer ataques de xilófagos, devido a perda da eficiência do produto de proteção (produto de acabamento). Assim, faz-se necessário, a manutenção constante com estes produtos, de acordo com as recomendações do fabricante.

4.3.2 Espectroscopia Eletrônica de varredura da madeira de Ipê

A Figura 32 apresenta a face tangencial da madeira de ipê, sem tratamento, antes (A) e após (B) ao processo de intemperismo natural.

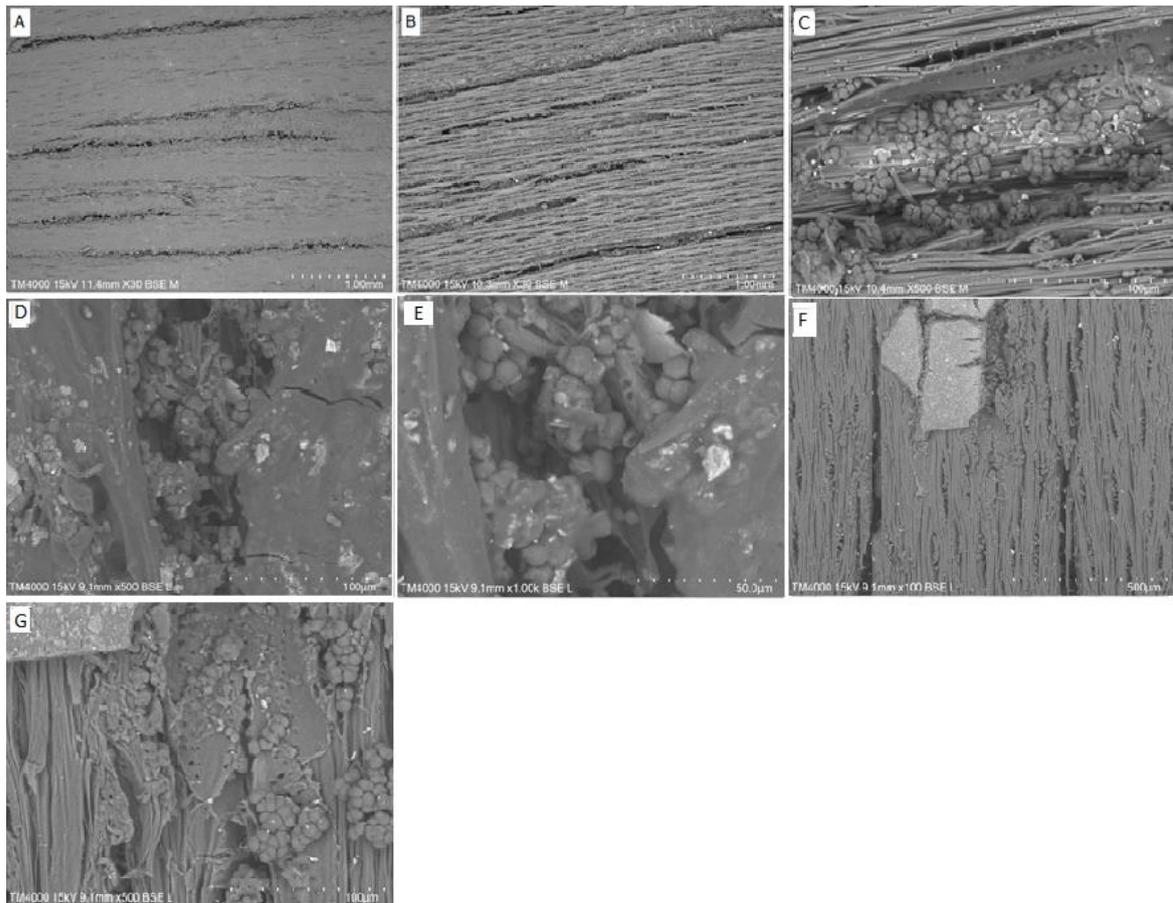


Figura 32. Face tangencial da madeira de Ipê, sem tratamento, tratada com verniz comum e verniz marítimo, antes do processo de intemperismo natural.

Analisando a Figura 32, é perceptível a ação do intemperismo natural na superfície da madeira, a qual apresenta desfibramento e perda de homogeneidade de sua superfície, tornando-se áspera com micros sulcos.

Ao ampliar o aumento para x500 (Figura 32(C)) é possível observar infestação de organismos xilófagos, de formato esférico, organizados em colônia. Na Figura 32 (D) observa-se a superfície do ipê, tratada com verniz comum, após o intemperismo. A película do verniz comum foi degradada, apresentando rachaduras e exposição dos componentes anatômicos da madeira, que por sua vez acabaram tendo seus vasos atacados por colônias de organismos xilófagos em formato esférico. O ataque de xilófagos na madeira sem tratamento é mais intenso.

A Figura 32 E, com aumento de 1000x, mostra nitidamente os vasos anatômicos da madeira de ipê tratada com verniz comum atacados por colônias de organismos xilófagos em formato esférico.

A Figura 32 F, mostra a superfície da madeira de Ipê, com aumento de 100X, tratada com verniz marítimo, após o processo de intemperismo natural.

Após o período de intemperismo, mesmo trata com verniz marítimo, a superfície da madeira apresenta degradação apesar de menos intensa, no qual é observado a presença de pequenas partículas remanescentes do produto de acabamento. Com uma maior aproximação do MEV, é possível observar estruturas de agentes xilófagos degradando os componentes anatômicos da amostra, Figura 32 G.

É possível observar a degradação das paredes de vasos na madeira de ipê e a presença de estruturas de xilófagos acoplados a este componente anatômico, indicando o ataque desses organismos devido a degradação superficial da madeira e conseqüentemente a propensão de ataque destes organismos. Assim, faz-se necessário, a manutenção constante com os produtos, de acordo com as recomendações do fabricante, conforme comentado anteriormente.

4.3.3 Espectroscopia Eletrônica de varredura da madeira de Jequitibá

A Figura 33 apresenta, a face tangencial da madeira de jequitibá, sem tratamento, tratada com verniz comum e verniz marítimo, antes e após ao processo de intemperismo natural.

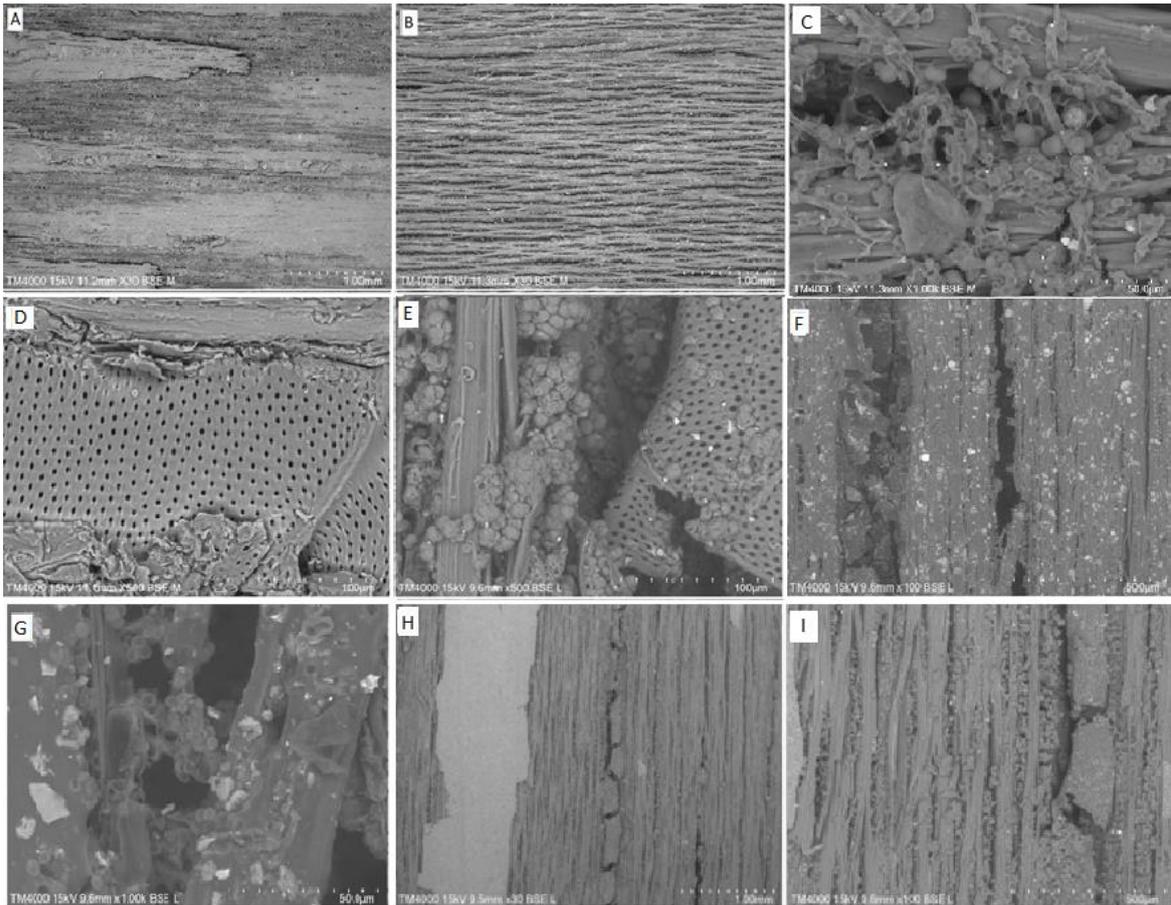


Figura 33. Face tangencial da madeira de Jequitibá, sem tratamento, tratada com verniz comum e verniz marítimo, antes do processo de intemperismo natural.

Ao analisar a Figura 33, observa-se a ação do intemperismo na madeira de jequitibá. Na Figura 33 (A) é observado a aparição de sulcos na superfície da madeira, possivelmente causadas pela degradação ocasionada pelo processo do intemperismo natural.

Ao ampliar imagem em 1000X (Figura 33 C), é observado que a amostra sem tratamento, após o processo de intemperismo, apresenta colônias de organismos xilófagos, em formatos esféricos.

Com o aumento de 500x, apresenta a parede de vaso, antes(D) e após(E) o processo de intemperismo. É observado que organismos xilófagos atacaram esse componente, degradando-o.

Com aumento de 100x (F), é possível observar pontos esbranquiçados, provavelmente advindos da composição química da película de verniz, bem como apresenta paredes de vasos degradadas. Em aumento de 1000x (G) é mostrado a presença de colônias de organismos xilófagos em formato de glóbulos no interior dos vasos degradados da madeira de jequitibá tratada com verniz comum após o processo de intemperismo.

É possível observar que, assim como a madeira tratada com verniz comum, a película de verniz marítimo também foi degradada, apresentando pequenas placas ao longo da superfície. Em aumento de 100X (I), é observado a degradação ocasionadas por organismos xilófagos.

4.3.4 Espectroscopia Eletrônica de varredura da madeira de marupá

A Figura 34 apresenta a madeira de marupá, sem produto de acabamento, tratada com verniz comum e verniz marítimo, antes e depois do processo de intemperismo artificial. Com aumento de x100. Antes do intemperismo (A) é possível ver a anatomia de raios, fibras e paredes de vasos, intactas. Por outro lado, após o intemperismo (B), é perceptível o desfibramento dos raios e a presença de espaços vazios nos vasos anatômicos da amostra.

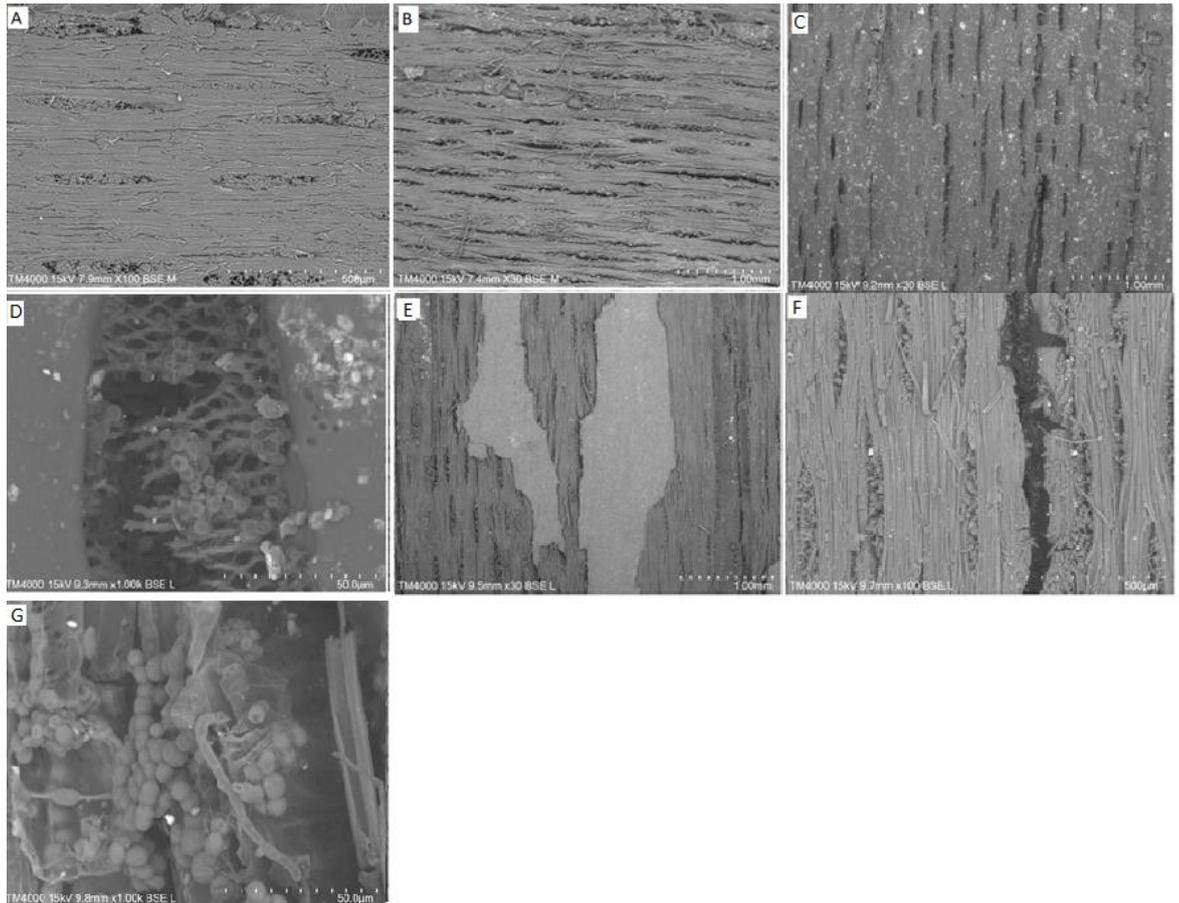


Figura 34. Face tangencial da madeira de Marupá, sem tratamento, tratada com verniz comum e verniz marítimo, antes do processo de intemperismo natural.

Em C perceptível a degradação da superfície da madeira de marupá, e do produto de acabamento, que reflete pontos esbranquiçados que são prováveis componentes degradados do produto, além de aberturas que servem como porta de entrada para o processo de degradação, tanto por intempéries quanto por organismos xilófagos. Em aumento de 1000x(D) é observado a degradação da parede de vaso por colônias de organismos xilófagos.

A madeira de marupá, tratada com verniz marítimo (E e F), após o processo de intemperismo. É notável a degradação do produto de acabamento na superfície da madeira, bem como a presença de agentes xilófagos na madeira. Com aumento de 100x (F), é observado o desfibramento da superfície, e a degradação das paredes dos vasos, sendo causadas por xilófagos.

A Figura 34 G apresenta uma colônia de organismos xilófagos, de formato esférico, presentes na parede de um vaso, da amostra de marupá tratada com verniz marítimo, com aumento de 1000X.

4.3.5 Espectroscopia Eletrônica de varredura da madeira de Maçaranduba.

A Figura 35 apresenta a superfície tangencial da madeira de maçaranduba, sem produtos de acabamento, tratadas com verniz comum e verniz marítimo, antes e após o processo de intemperismo.

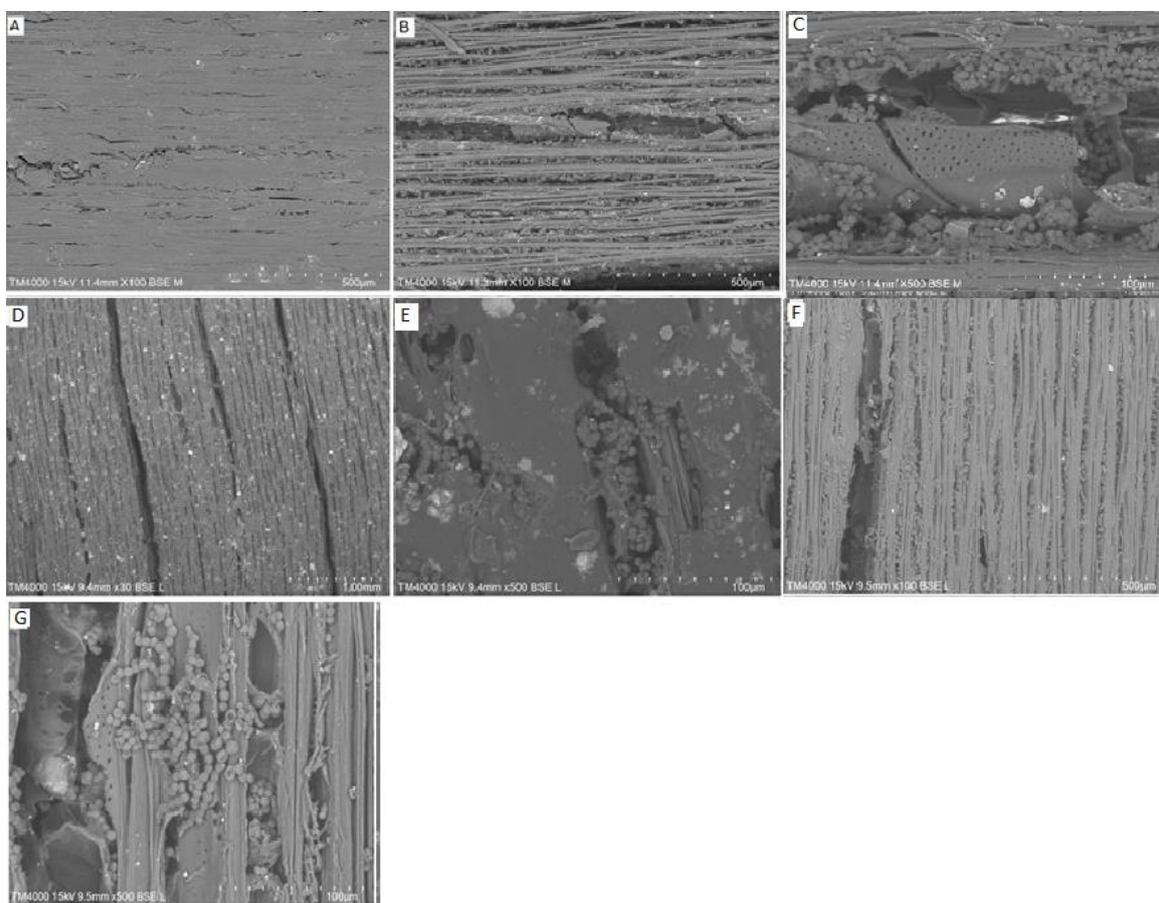


Figura 35. Face tangencial da madeira de Maçaranduba, sem tratamento, tratada com verniz comum e verniz marítimo, antes do processo de intemperismo natural.

É observado que antes do intemperismo (A) a superfície é homogênea e com seus componentes anatômicos conservados. A superfície da amostra após o intemperismo apresenta-se bem degradada (B), com desfibramentos e presença de organismos xilófagos.

Em imagem mais detalhada é possível ver as colônias de xilófagos atacando a parede de um vaso, como mostrado em C.

Com aumento de 30x(D) é perceptível a deterioração da película de verniz comum, juntamente com a presença de reentrâncias ocasionadas pelo processo de degradação pelo intemperismo natural. Em aumento de 500X(E) é observado a presença de agentes xilófagos.

Com aumento de 100X(F) e 500X(G), no qual é observado a degradação superficial da madeira. Com aumento de 500X(G), é possível observar colônias de organismos xilófagos degradando os componentes da madeira de maçaranduba, apresentando além de fibras, vasos degradados.

No geral, é percebido visualmente que para todas as madeiras estudadas ocorreu a degradação superficial evidenciadas pelo estado anatômico das madeiras. Mesmo ao aplicar produtos de acabamento no qual em alguns casos permaneceram com resquícios de películas sob a superfície das amostras, foram constatados possível presença de organismos xilófagos.

Almeida (2019) afirma que a despolimerização da lignina e holoceluloses e a produção de compostos fenólicos de baixa massa molecular e açúcares, proporcionam uma fonte de nutrição para microrganismos, sendo que a fotodegradação também é maior na presença da umidade, possivelmente porque as moléculas de água incham a madeira promovendo o acesso às paredes das células, cujo o conteúdo é constituído por carboidratos e lignina.

Com efeito do processo de intemperismo, pode ocorrer a infestação por fungos na superfície da madeira, fungos estes (ascomicetos e deuteromicetos) que decompõem as paredes celulares e a lignina (LEPAGE et al., 1986).

As reentrâncias observadas nas amostras que foram submetidas ao intemperismo natural pela análise MEV são fissurações causadas na camada superficial da madeira, ocorridas devido a oxidação da lignina, causadas através de um processo sucessivo de alterações químicas como quebra de ligações e perda de hidrogênio, que causam o aumento da sensibilidade á água seguida de hidrólise (SCHALLER & ROGEZ, 2007).

4.4 ANÁLISES DE MICROSCOPIA NO INFRAVERMELHO MÉDIO- MIR

4.4.1 Microscopia no Infravermelho Médio- MIR para as Madeiras Estudadas – Intemperismo Natural.

Ao realizar as leituras espectrais das amostras das espécies estudadas, foi observado uma limitação na obtenção de dados químicos devido as características químicas das madeiras. Das espécies utilizadas, as que apresentam a cor muito escura ($L^* < 50,00$, conforme o sistema CIELAB, 1976) apresentaram ruídos elevados na obtenção dos espectros, não sendo possível mensurar as bandas químicas dessas amostras.

É importante frisar que, segundo Pastore (2004), a maçaranduba possui elevado teor de extrativos, e isso pode ter ocasionado o aumento na intensidade da absorbância, característico da presença de compostos carboxílicos e fenólicos, em que ocorre formação de ligação de hidrogênio, o que pode afetar a obtenção de espectros. O mesmo pode ser dito em relação a madeira de ipê, que também possui concentração de extrativos elevados.

Isso pode ocorrer devido a maior absorção do feixe infravermelho emitido pelo equipamento e pela menor refletância do mesmo nas amostras, dificultando as leituras. Assim, para as madeiras de maçaranduba e ipê não foi possível esta análise.

Objetivando quantificar as alterações ocorridas durante a irradiação, foram feitas medidas da área das bandas de absorção referentes as bandas de carbonila e lignina por integração matemática. As áreas das bandas referentes a celulose não foram integradas devido a sua característica invariável frente ao intemperismo e a utilização de sua banda para a normalização do espectro, resultados referentes a essa quantificação serão observados no decorrer do texto a seguir.

A Figura 36 ilustra os espectros DRIFT normalizados das madeiras de cedro, jequitibá e marupá, sem produtos de acabamento e antes do intemperismo natural.

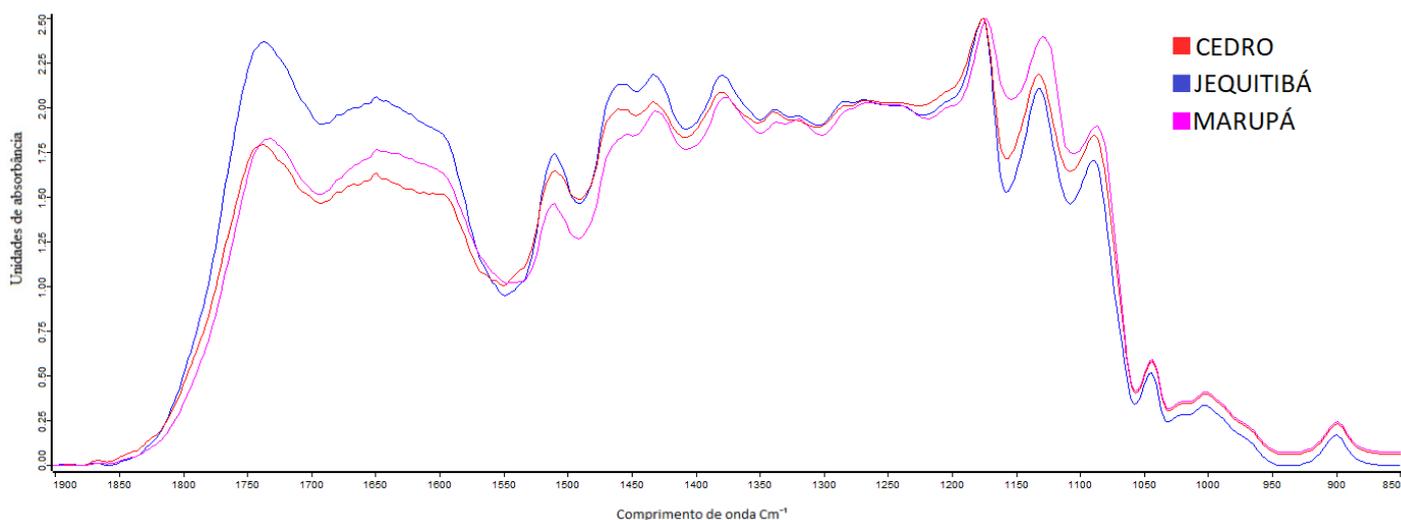


Figura 366. Espectro DRIFT das madeiras utilizadas sem tratamento e antes do ensaio de intemperismo.

Para este estudo, as bandas espectrais utilizadas são as localizadas entre 1485cm^{-1} e 1552cm^{-1} nas quais são produzidas pela vibração da ligação do anel benzênico (C=C) correspondente a lignina da madeira, 860cm^{-1} a 948cm^{-1} referente ao pico de celulose e 1731cm^{-1} a 1814cm^{-1} no qual se encontra o pico de carbonila, por serem bandas puras dos principais compostos químicos constituintes da madeira.

Algumas estruturas químicas das madeiras sofrem degradação por fotodecomposição, e outras são formadas, resultando no aumento ou redução na intensidade das bandas, proporcional ao aumento do tempo de exposição à radiação UV (PASTORE, 2004), processo análogo ao observado na Figura 36, para as madeiras de cedro, jequitibá e marupá, sem tratamento durante os períodos de intemperismo natural.

Observa-se na Figura 37 que, para as espécies estudadas (Testemunha), os espectros mudam com o passar do tempo (tratamentos de intemperismo natural T1 a T6 – Tabela 4 material e métodos), indicando uma mudança química detectada pela variação de intensidade.

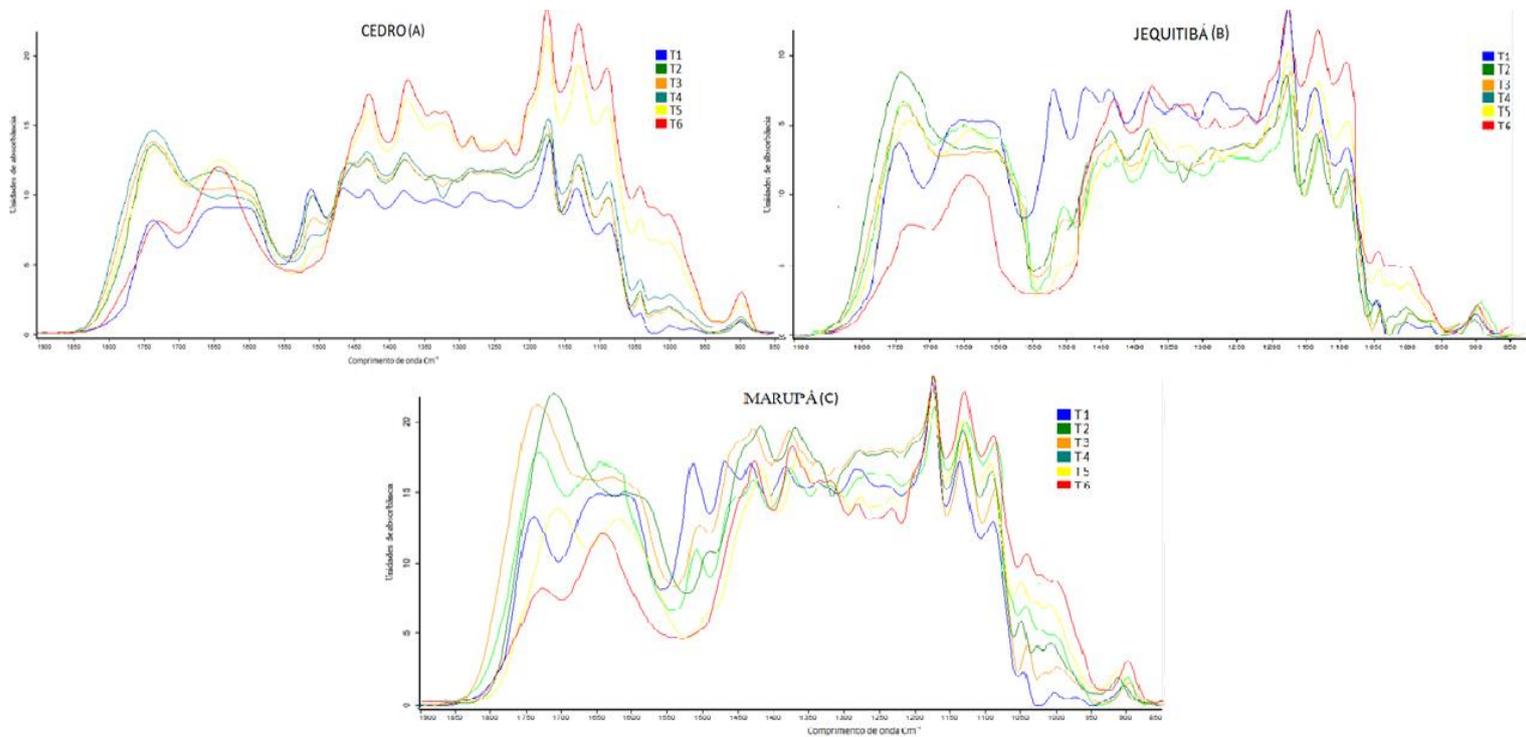


Figura 37. Evolução dos espectros DRIFT da madeira de Cedro (A), Jequitibá (B) e Marupá (C), sem tratamento, com os ciclos de tempo de intemperismo natural.

Quando os produtos de acabamento são aplicados, os espectros das madeiras sofrem alterações, conforme mostra a Figura 38, que compara os espectros das madeiras cedro(A), jequitibá (B) e marupá (C) sem tratamento (testemunha) e tratadas com vernizes comum e marítimo, antes do processo de intemperismo.

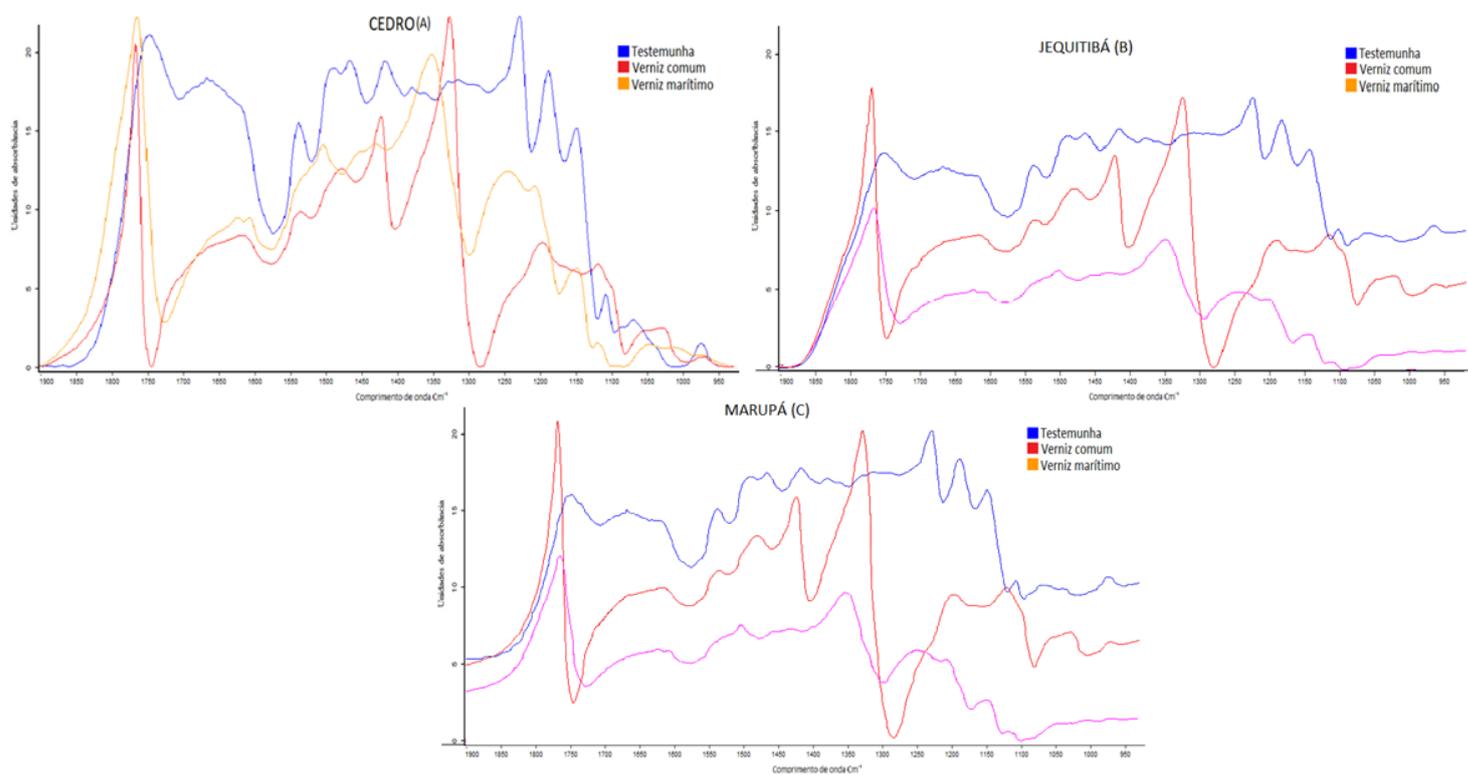


Figura 38. Espectros da madeira de cedro (A), jequitibá (B) e marupá (C), respectivamente, sem tratamento (testemunha), e tratadas com verniz comum e marítimo, antes do processo de intemperismo natural.

O espectro correspondente às madeiras sem produtos de acabamento apresentam os picos de bandas puras da madeira (carbonila, ligninas e celulose) bem definidos, enquanto as amostras tratadas com o verniz apresentam bandas espectrais alteradas. Este fato pode ter ocorrido, provavelmente, devido às características químicas do verniz, que sobreponha à madeira, resultando em uma película de revestimento.

A Figura 39, 40 e 41 mostram os espectros de DRIFT das madeiras cedro, jequitibá e marupá, respectivamente, sem produto de acabamento (testemunha) e tratadas com verniz comum e marítimo, antes e após o intemperismo natural. As bandas correspondentes à carbonila, lignina e celulose podem ser observadas nestas figuras.

Um comportamento semelhante é observado ao analisar as três espécies estudadas, individualmente, e tratadas com os produtos de acabamentos, antes e após o intemperismo natural (Figuras 39 a 41) em que ocorre uma redução drástica nos picos de lignina, seguida de aumento das bandas de carbonila (1759cm^{-1}).

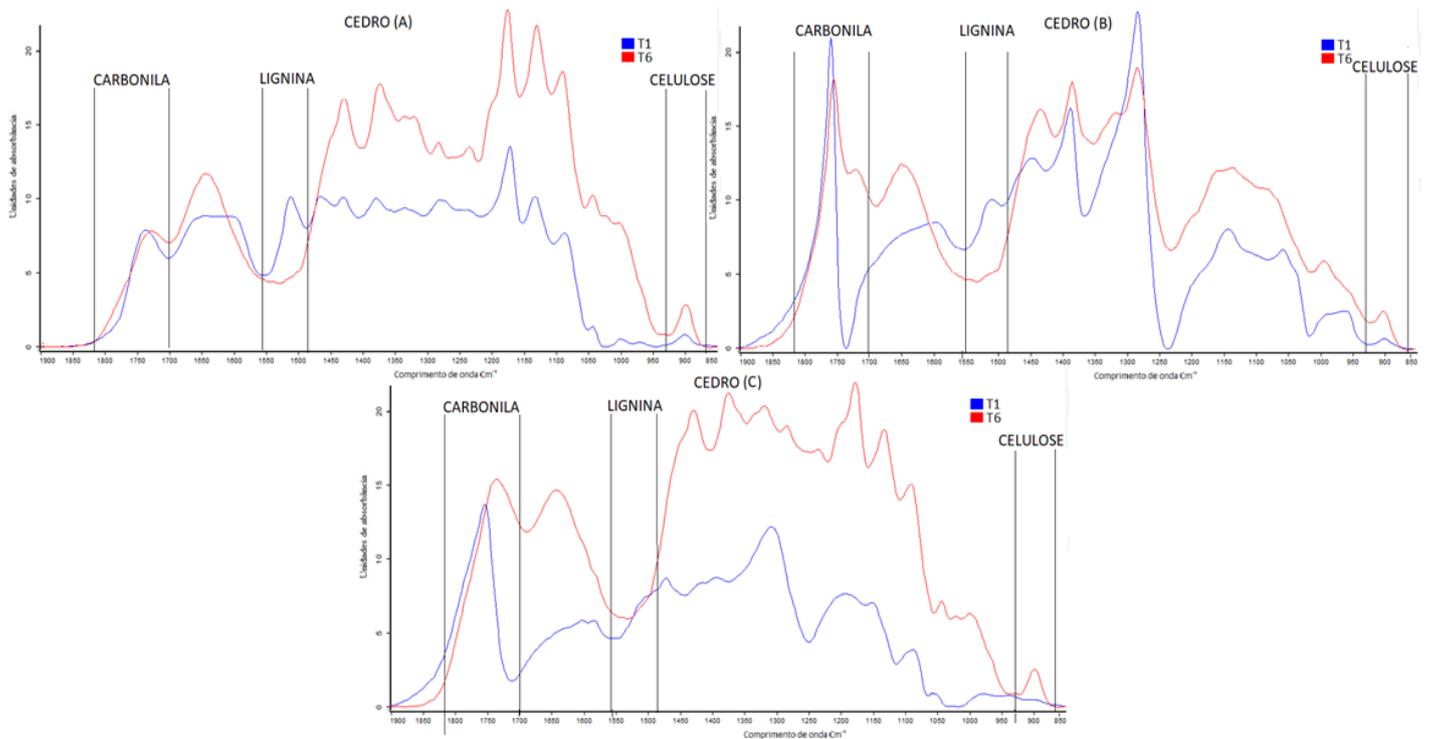


Figura 39. Espectros DRIFT da madeira de cedro sem produto (A), tratada com verniz comum (B) e tratada com Verniz marítimo (C), antes (T1) e após (T6) o ensaio de intemperismo natural.

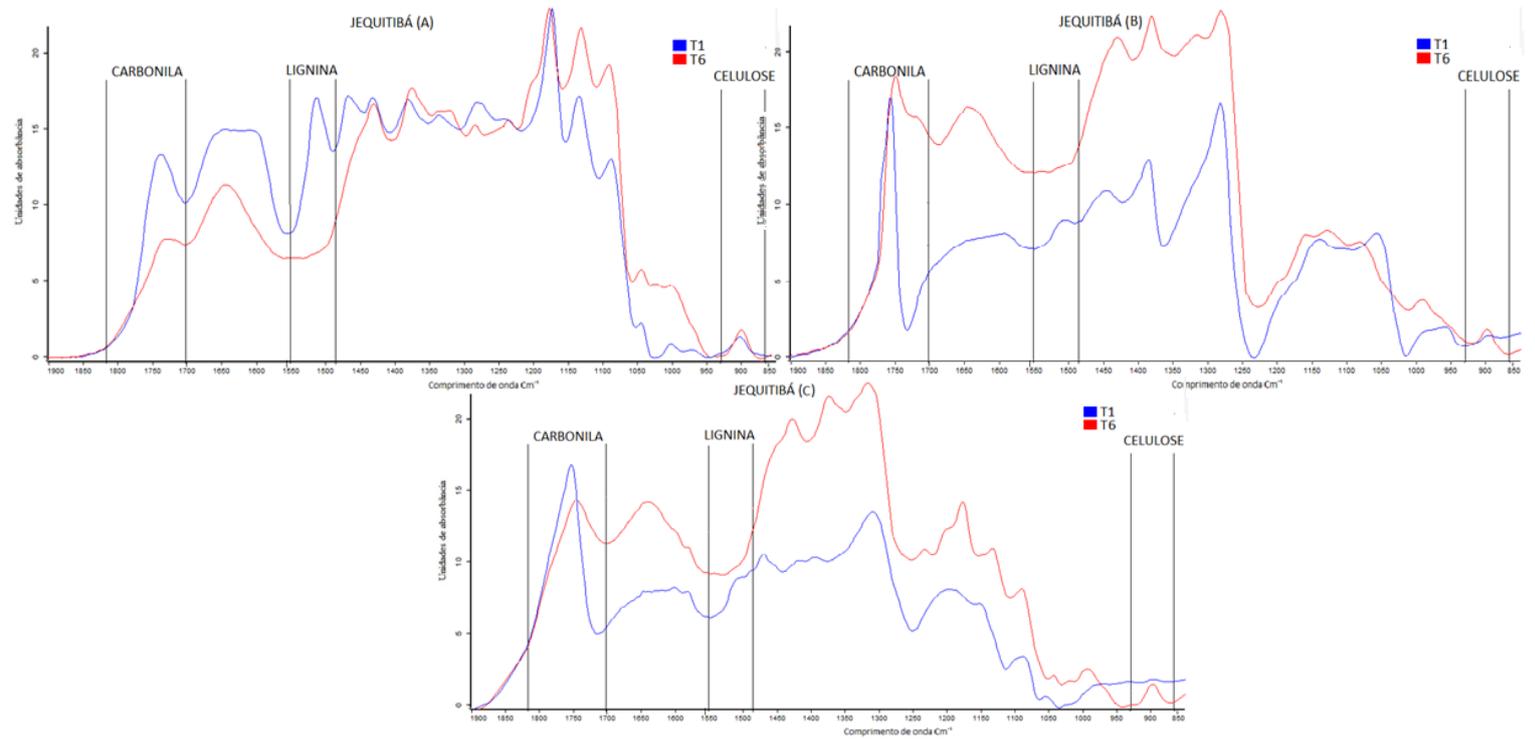


Figura 40. Espectros DRIFT da madeira de jequitibá sem produto (A), tratada com verniz comum (B) e tratada com Verniz marítimo (C), antes (T1) e após (T6) o ensaio de intemperismo natural.

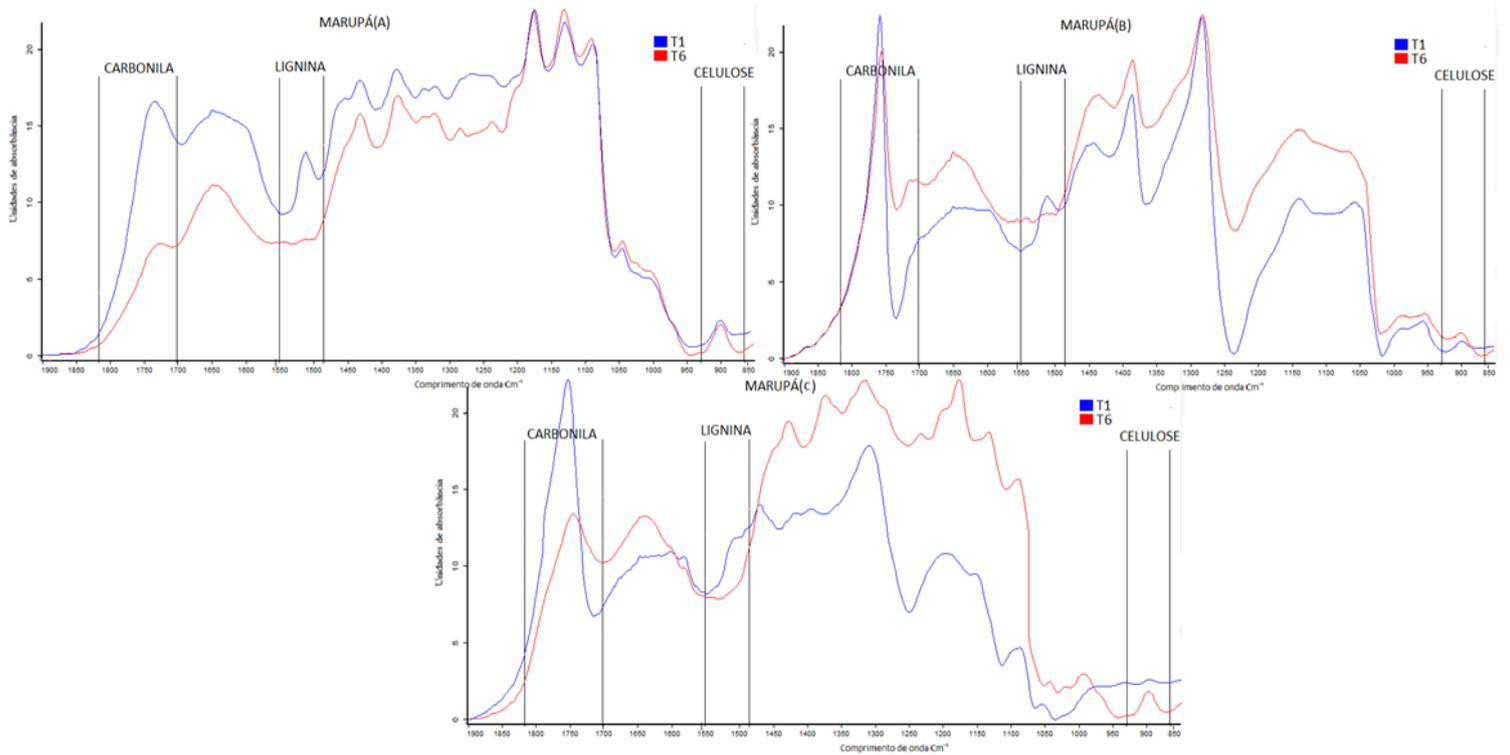


Figura 41. Espectros DRIFT da madeira de marupá sem produto (A), tratada com verniz comum (B) e tratada com verniz marítimo (C), antes (T1) e após (T6) o ensaio de intemperismo natural.

É observado o decréscimo das bandas pura de lignina e carbonila para todos os tratamentos, indicando que mesmo com a proteção de produtos de acabamento, as amostras sofreram intensa alteração química. As bandas puras de celulose permaneceram bem próximas as testemunhas. Isso pode ser atribuído, em parte, a composição química destes produtos de acabamentos que são a base de nitrocelulose. Uma outra hipótese é que estes produtos usados na pesquisa não deram resposta positiva na proteção da madeira. A radiação ultravioleta (UV) presente na luz solar causa modificações químicas dos principais componentes químicos que constituem a madeira, os produtos utilizados não conseguiram exercer a função desejada de proteção, ocorrendo a oxidação da lignina e carbonila.

Em estudo similar, Rubem (2014) encontrou resultados parecidos para a espécie marupá submetida ao intemperismo natural, no qual as bandas de celulose ao final do experimento mantiveram-se no mesmo nível de absorção inicial para bandas de celulose e as carbonila e lignina sofreram alterações.

A Tabela 17, apresenta os dados quantificados referentes a carbonila e lignina das madeiras de cedro, sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, durante o processo de intemperismo natural.

Tabela 17. Dados quantitativos de carbonila e lignina das madeiras de cedro submetidas ao processo de intemperismo natural.

cedro	Testemunha		Verniz Comum		Verniz Marítimo	
Ciclo	Carbonila (u.a/cm ⁻¹)	Lignina (u.a/cm ⁻¹)	Carbonila (u.a/cm ⁻¹)	Lignina (u.a/cm ⁻¹)	Carbonila (u.a/cm ⁻¹)	Lignina (u.a/cm ⁻¹)
T1	0,221	0,209	0,887	0,319	0,440	0,252
T2	0,247	0,102	0,745	0,324	0,337	0,207
T3	0,316	0,347	0,610	0,423	0,275	0,311
T4	0,351	0,117	0,742	0,217	0,340	0,257
T5	0,330	0,025	0,615	0,150	0,452	0,285
T6	0,325	0,000	0,732	0,000	0,206	0,190

Observa-se que para a madeira de cedro tratada com verniz marítimo, a quantidade de lignina não se mostra totalmente nula ao final do tratamento, evidenciando maior resistência da madeira tratada com este produto, seguida da madeira tratada com verniz

comum em que a concentração de lignina se torna nula no período de 224 dias de ensaio (Período T6 conforme a Tabela 4) de intemperismo natural. O emprego do verniz comum teve proteção parcial para madeira de cedro, apesar da lignina ser nula em T6, a carbonila não foi zerada.

A Figura 42 apresenta os valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de cedro sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo natural.

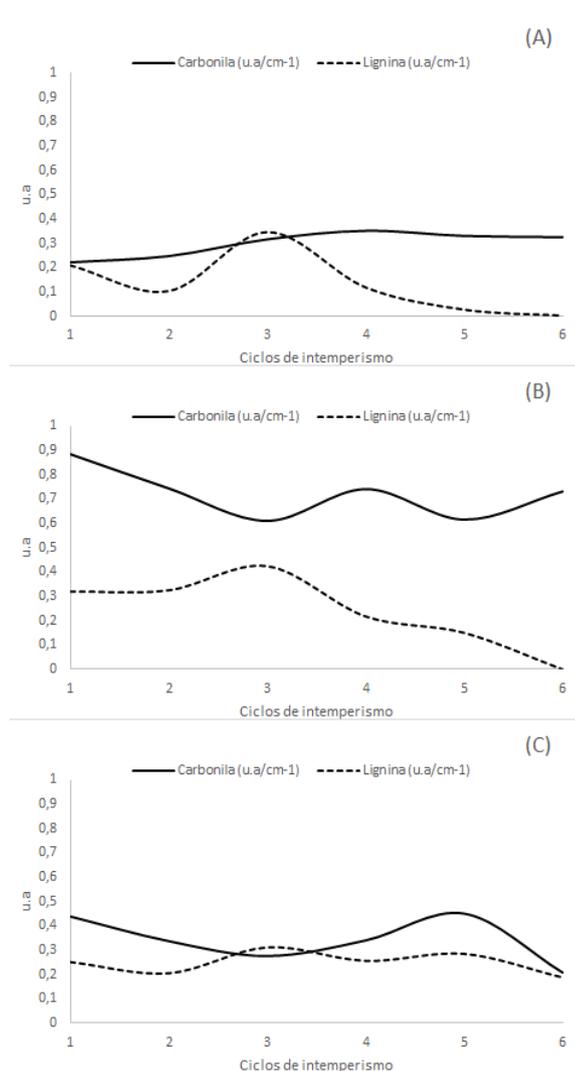


Figura 42. Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de cedro sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo natural.

Na Figura 42 é observado que para as três condições de tratamento superficial das madeiras, ocorre um pico de lignina durante o período inicial de 21 dias de ensaio (T3 de

acordo com a Tabela 4), que reduz a medida que a concentração de lignina diminui no decorrer do ensaio.

A Tabela 18, apresenta os dados quantificados referentes a carbonila e lignina da madeira de jequitibá, sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, durante o processo de intemperismo natural.

Tabela 18. Dados quantitativos de carbonila e lignina das madeiras de jequitibá submetidas ao processo de intemperismo natural.

jequitibá Ciclo	Testemunha		Verniz Comum		Verniz Marítimo	
	Carbonila (u.a/cm ⁻¹)	Lignina (u.a/cm ⁻¹)	Carbonila (u.a/cm ⁻¹)	Lignina (u.a/cm ⁻¹)	Carbonila (u.a/cm ⁻¹)	Lignina (u.a/cm ⁻¹)
T1	0,424	0,323	0,863	0,419	0,410	0,366
T2	0,318	0,294	0,751	0,317	0,404	0,324
T3	0,281	0,393	0,845	0,452	0,428	0,438
T4	0,294	0,312	0,936	0,420	0,373	0,311
T5	0,300	0,299	0,950	0,108	0,415	0,244
T6	0,366	0,000	0,860	0,028	0,374	0,035

De acordo com a Tabela 18, para madeira de jequitibá tratada com verniz comum e marítimo a quantidade de lignina não se torna totalmente nula ao final do tratamento, evidenciando maior resistência da madeira, diferente ao que ocorre com a madeira sem produtos de acabamento (Testemunha), que reduz a concentração da banda pura de lignina ao final do ensaio de intemperismo natural.

A Figura 43 apresenta os valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de jequitibá sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo natural.

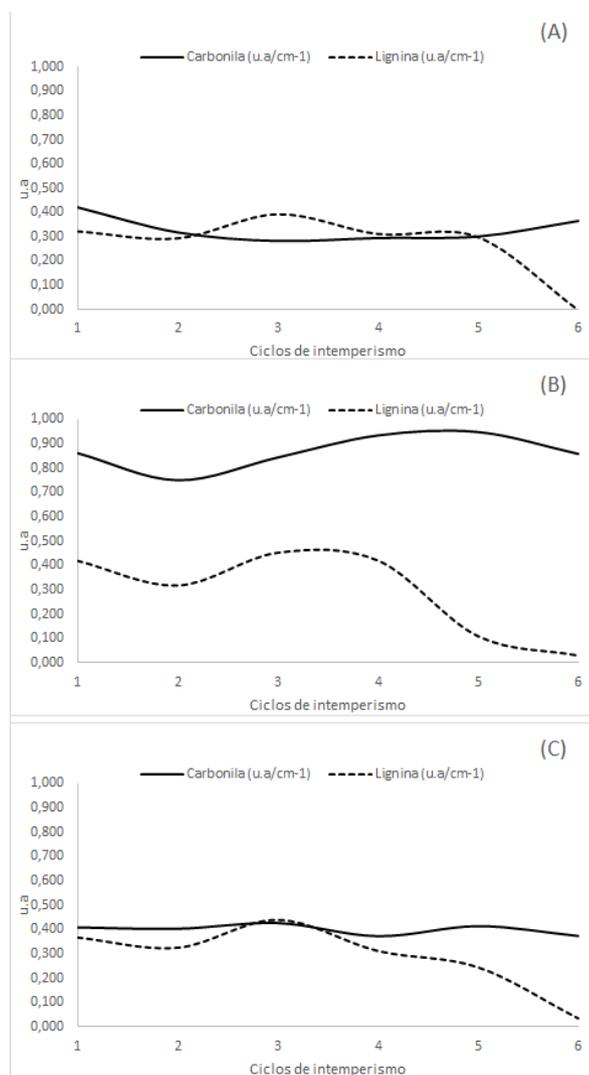


Figura 43. Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de jequitibá sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo natural.

Na Figura 43 é observado que, assim como ocorreu para madeiras de cedro, para todos os tratamentos superficiais o pico máximo de lignina se deu no período de 21 dias de ensaio, que reduziu gradualmente durante o restante do ensaio de intemperismo.

A Tabela 19, apresenta os dados quantificados referentes a carbonila e lignina da madeira de marupá, sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, durante o processo de intemperismo natural.

Tabela 19. Dados quantitativos de carbonila e lignina das madeiras de marupá submetidas ao processo de intemperismo natural.

marupá	Testemunha	Verniz Comum	Verniz Marítimo
--------	------------	--------------	-----------------

Ciclo	Carbonila (u.a/cm ⁻¹)	Lignina (u.a/cm ⁻¹)	Carbonila (u.a/cm ⁻¹)	Lignina (u.a/cm ⁻¹)	Carbonila (u.a/cm ⁻¹)	Lignina (u.a/cm ⁻¹)
T1	0,433	0,358	0,955	0,420	0,610	0,256
T2	0,412	0,471	0,940	0,512	0,495	0,382
T3	0,455	0,304	0,783	0,457	0,442	0,250
T4	0,450	0,225	0,813	0,372	0,517	0,226
T5	0,493	0,166	0,838	0,272	0,457	0,179
T6	0,447	0,000	0,895	0,210	0,441	0,084

É observado na Tabela 19 que a maior concentração de lignina se deu para madeiras de marupá tratada com verniz comum na qual obteve menor redução da concentração desse composto químico, indicando ser a que apresentou maior resistência ao ensaio de intemperismo natural, seguida das madeiras tratadas com verniz marítimo e por fim as amostras sem produtos de acabamento, que chegaram a zero da banda pura de lignina ao fim do experimento.

A Figura 44 apresenta os valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de marupá sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo natural.

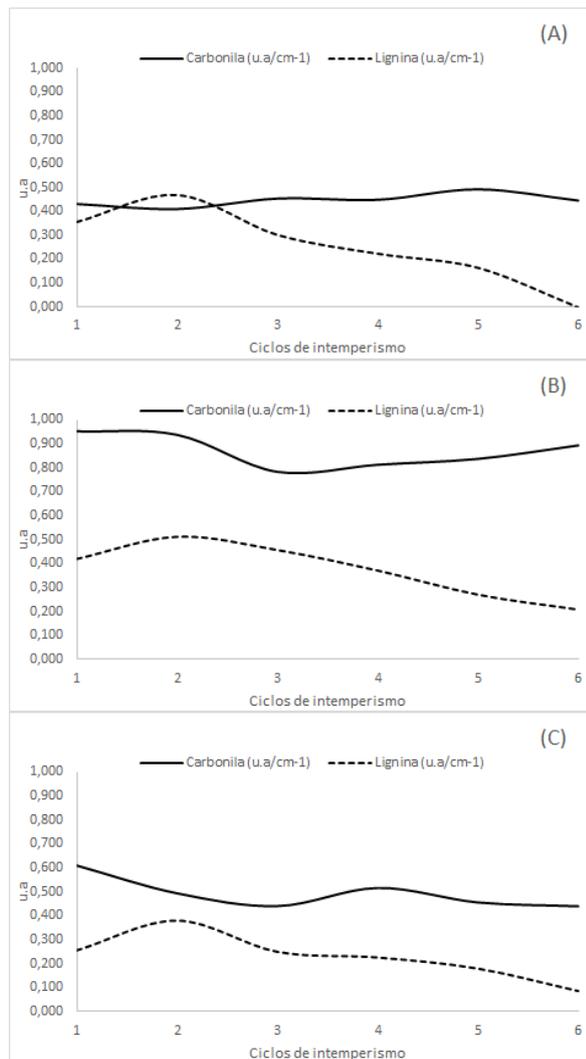


Figura 44. Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de marupá sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo natural.

Analisando a Figura 44 é observado diferença de comportamento ao ocorrido para madeiras de cedro e jequitibá em que, para a madeira de marupá em todos os tratamentos, o pico máximo de lignina ocorreu nos primeiros sete dias de ensaio (T2 de acordo com a Tabela 4), reduzindo gradualmente durante o restante do ensaio de intemperismo natural.

4.4.2 Microscopia no Infravermelho Médio- MIR para as Madeiras Estudadas – Intemperismo Artificial

Esta etapa do estudo também foi realizada com as mesmas três espécies do intemperismo natural, conforme justificado anteriormente. Os espectros DRIFT das

amostras de cedro, jequitibá e marupá submetidas ao ensaio de intemperismo artificial, estão nas Figuras 45 a 47.

A Figura 45 apresenta os espectros DRIFT das amostras sem produtos de acabamento (Testemunha) durante o processo de intemperismo artificial.

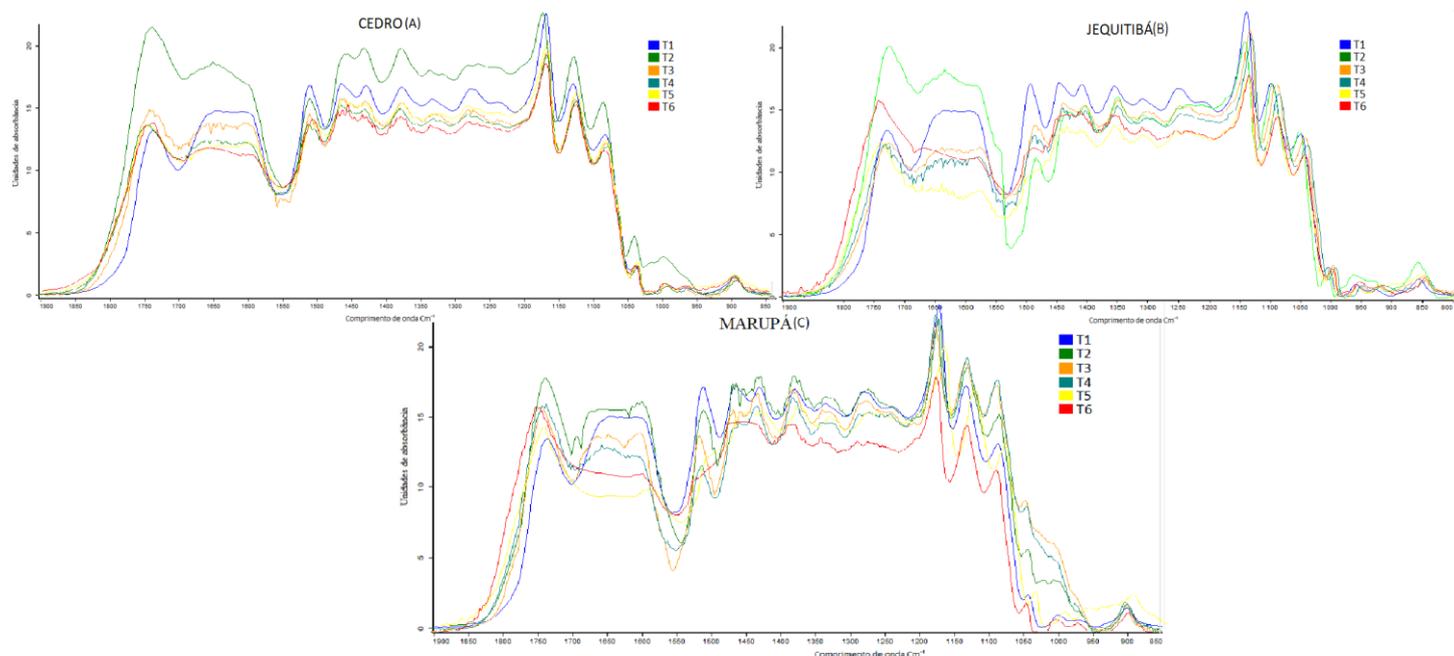


Figura 45. Espectros da madeira de cedro (A), jequitibá (B) e marupá (C), respectivamente, sem tratamento (testemunha), durante o processo de intemperismo.

Para os espectros relacionados a madeira de cedro, conforme mostrado na Figura 45, o comportamento é análogo ao ocorrido com madeiras de jequitibá e marupá, nas quais ocorre uma redução mais acentuada do pico das bandas puras de lignina, seguida de uma redução perceptível no bandejamento de carbonila (1759 cm^{-1}), e a preservação da bandagem de celulose a 900 cm^{-1} , mesmo comportamento observado para amostras utilizadas no processo de intemperismo natural.

A Figura 46 mostra os espectros de DRIFT da madeira de cedro, sem acabamento (testemunha) e tratadas com vernizes comum e marítimo, antes e depois do intemperismo artificial. Bandas correspondentes a carbonila, lignina e celulose podem ser analisadas.

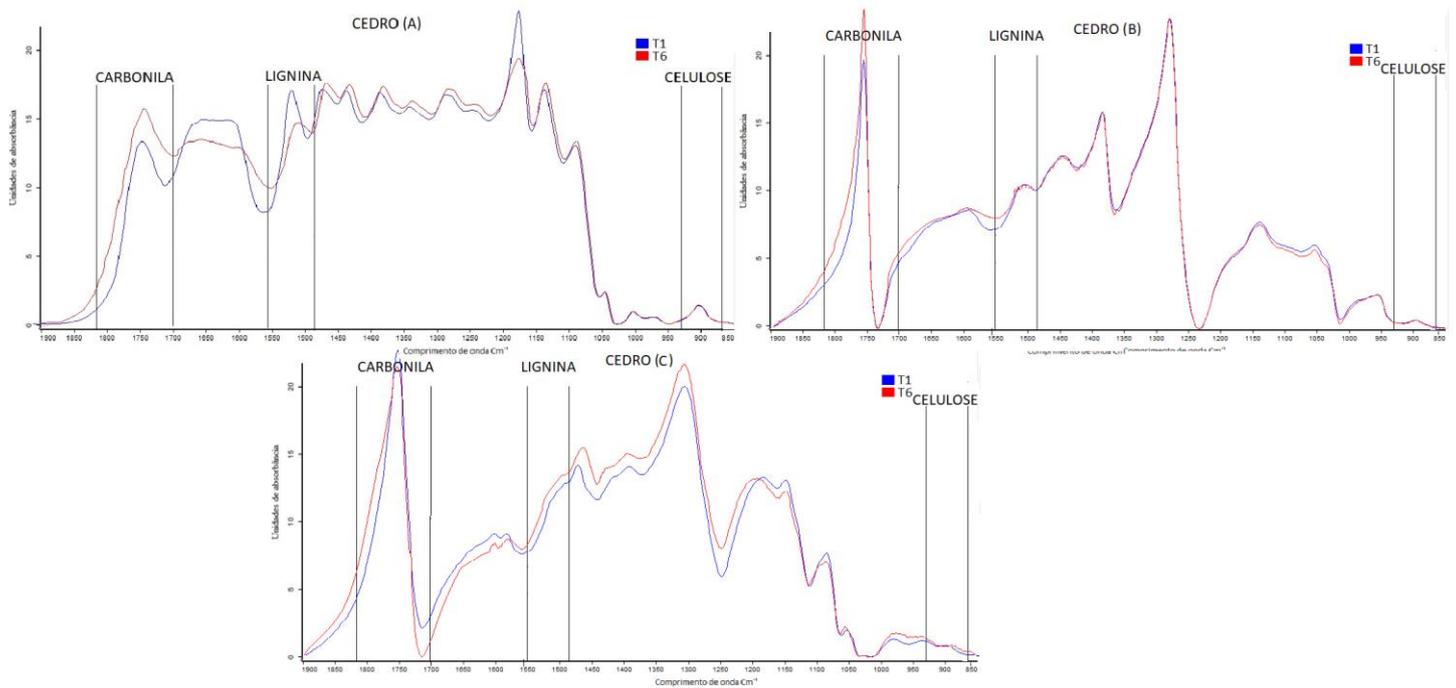


Figura 46. Espectros DRIFT da madeira de cedro sem produto (A), antes (T1) e após (T6) o ensaio de intemperismo artificial.

É observado que as madeiras sem produtos de acabamento (Testemunhas), foram as que sofreram maior variação na concentração de lignina, diferentemente das amostras que sofreram tratamento, as quais não obtiveram variação significativa nas suas bandas puras de lignina, mostrando que as madeiras tratadas com os produtos de acabamento responderam de forma positiva no processo.

A Figura 47 mostra os espectros de DRIFT da madeira de jequitibá, sem acabamento (testemunha) e tratadas com vernizes comum e marítimo, antes e depois do intemperismo artificial.

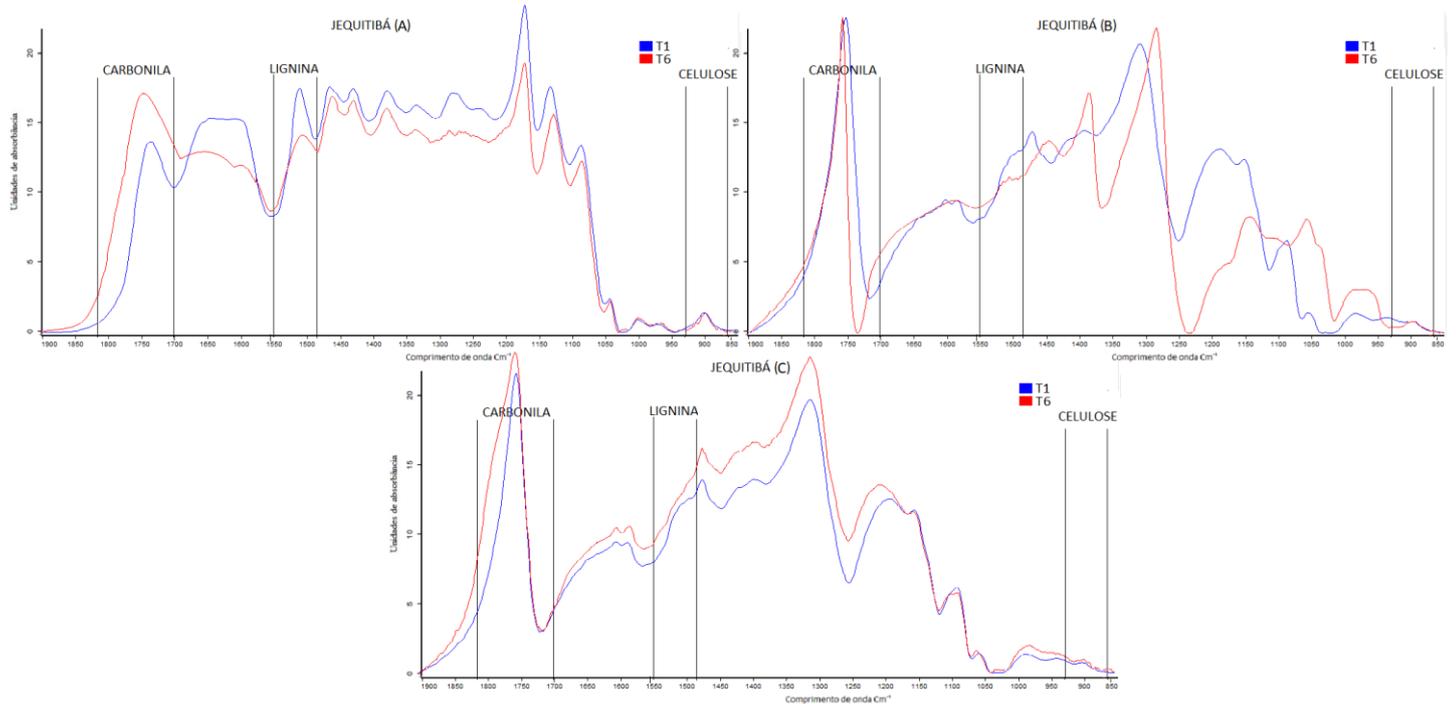


Figura 47. Espectros DRIFT da madeira de jequitibá Tratada com verniz comum (B), antes (T1) e após (T6) o ensaio de intemperismo artificial.

Para a madeira de jequitibá, é observado maior redução da concentração de lignina nas madeiras sem produtos de acabamento (Testemunha), seguida das amostras tratadas com verniz comum e por fim amostras tratadas com verniz marítimo, este último aparenta trazer maior resistência à madeira frente ao intemperismo artificial.

A Figura 48 mostra os espectros de DRIFT da madeira de marupá, sem acabamento (testemunha) e tratadas com vernizes comum e marítimo, antes e depois do intemperismo artificial.

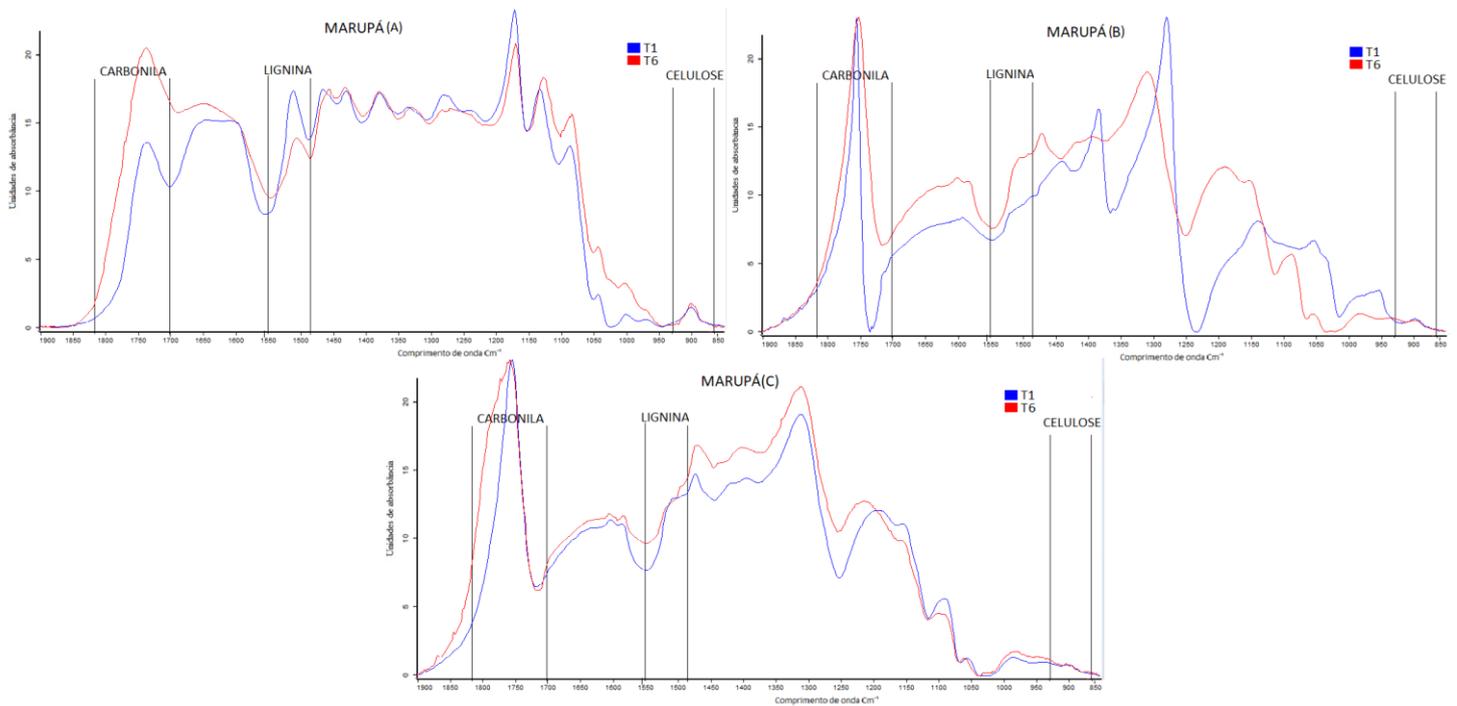


Figura 48. Espectros DRIFT da madeira de marupá, sem tratamento (A), tratada com verniz comum (B), e tratada com verniz marítimo (C), antes (T1) e após (T6) o ensaio de intemperismo artificial.

Analisando a Figura 48 é possível observar que a concentração de lignina que menos decaiu foi das madeiras tratadas com verniz marítimo, seguido do verniz comum e por fim as madeiras sem tratamento (Testemunha).

Para as 3 espécies estudadas é observado o comportamento parecido dos espectros obtidos. As madeiras que sofreram tratamentos com verniz marítimo foram as que menos sofreram variação do pico de lignina, componente esse que é degradado frente a ação do intemperismo artificial.

A Tabela 20, apresenta os dados quantificados referentes a carbonila e lignina das madeiras de cedro, sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, durante o processo de intemperismo artificial.

Tabela 20. Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de cedro sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo artificial.

Cedro	Testemunha		Verniz Comum		Verniz Marítimo	
	Carbonila (u.a/cm-1)	Lignina (u.a/cm-1)	Carbonila (u.a/cm-1)	Lignina (u.a/cm-1)	Carbonila (u.a/cm-1)	Lignina (u.a/cm-1)
T1	0,403	0,422	0,893	0,419	0,410	0,252

T2	0,438	0,320	0,885	0,424	0,373	0,207
T3	0,456	0,300	0,910	0,423	0,375	0,211
T4	0,415	0,217	0,942	0,407	0,300	0,257
T5	0,503	0,180	0,725	0,385	0,325	0,255
T6	0,516	0,150	0,923	0,343	0,290	0,219

Ao analisar a Tabela 20, referente a quantificação das bandas puras de interesse para as madeiras de cedro sem tratamento e tratadas com produtos de acabamento (verniz comum e marítimo), é observado que a quantidade de lignina não se torna totalmente nula ao final do experimento. É observado que não houve grande variação nas concentrações de lignina para madeiras tratadas com verniz comum e marítimo, diferente do ocorrido para as madeiras testemunhas, que tiveram seu pico reduzido. Para esta espécie, nas condições ensaiadas, deve-se procurar o produto mais econômico, uma vez que ambos comportaram de forma semelhantes.

A Figura 49 apresenta os valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de cedro sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo artificial.

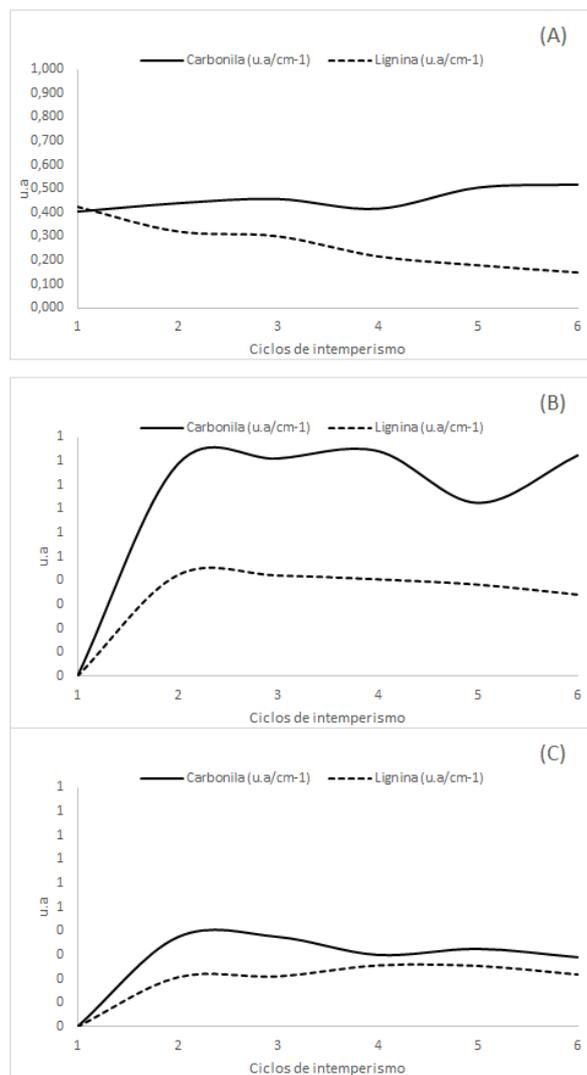


Figura 49. Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de cedro sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo artificial.

É observado na Figura 49 a estabilidade na linha correspondente a lignina para madeiras tratadas (B e C), e redução da lignina para as madeiras testemunhas, indicando que os produtos de acabamento foram eficientes quanto as condições e tempo de ensaio de intemperismo artificial.

A Tabela 21, apresenta os dados quantificados referentes a carbonila e lignina da madeira de jequitibá, sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, durante o processo de intemperismo artificial.

Tabela 21. Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de jequitibá sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo artificial.

Jequitibá	Testemunha		Verniz Comum		Verniz Marítimo	
Ciclo	Carbonila (u.a/cm-1)	Lignina (u.a/cm-1)	Carbonila (u.a/cm-1)	Lignina (u.a/cm-1)	Carbonila (u.a/cm-1)	Lignina (u.a/cm-1)
T1	0,394	0,323	0,963	0,519	0,510	0,266
T2	0,318	0,294	0,751	0,417	0,404	0,224
T3	0,381	0,253	0,845	0,452	0,428	0,238
T4	0,394	0,212	0,936	0,425	0,373	0,211
T5	0,400	0,199	0,950	0,398	0,415	0,244
T6	0,416	0,102	0,860	0,332	0,374	0,232

Analisado a tabela 21, é observado maior concentração final das bandas puras de lignina nas amostras que possuem produto de acabamento, sendo que nestas a amostra que mais preservaram a quantidade de lignina foram as tratadas com verniz marítimo e comum, indicando que estes produtos de acabamentos são indicados, nas condições testadas, para a espécie.

A Figura 50 apresenta os valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de jequitibá sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo artificial. A figura confirma, como esperado, os dados da Tabela 21. Pode-se observar uma maior estabilidade das bandas para o verniz marítimo, apesar do bom comportamento também do verniz comum.

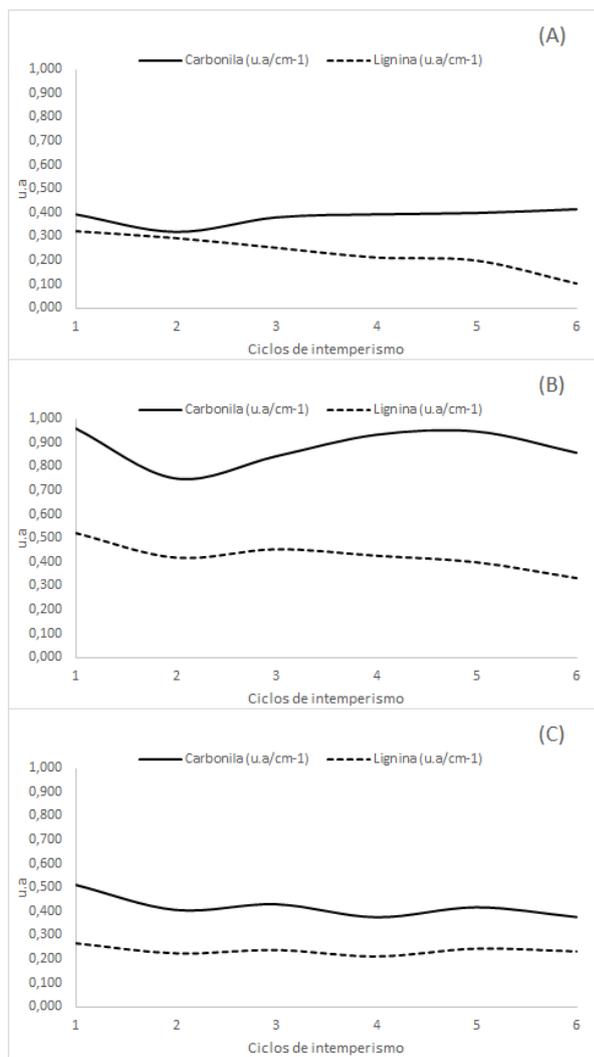


Figura 50. Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de jequitibá sem produtos de acabamento (Testemunha - A), tratadas com verniz comum (B) e marítimo (C), submetidas ao intemperismo artificial.

A Tabela 22, apresenta os dados quantificados referentes a carbonila e lignina da madeira de marupá, sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, durante o processo de intemperismo artificial.

Tabela 22. Valores médios da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de marupá sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo artificial.

marupá	Testemunha		Verniz Comum		Verniz Marítimo	
Ciclo	Carbonila (u.a/cm-1)	Lignina (u.a/cm-1)	Carbonila (u.a/cm-1)	Lignina (u.a/cm-1)	Carbonila (u.a/cm-1)	Lignina (u.a/cm-1)
T1	0,433	0,458	0,955	0,519	0,510	0,356

T2	0,412	0,371	0,940	0,412	0,495	0,282
T3	0,455	0,204	0,783	0,357	0,442	0,250
T4	0,450	0,185	0,813	0,372	0,517	0,246
T5	0,493	0,166	0,838	0,258	0,457	0,179
T6	0,547	0,109	0,895	0,127	0,441	0,180

Para a madeira de marupá submetida ao intemperismo artificial, é observado que amostras tratadas com verniz marítimo foram as que mais resistiram quanto a concentração da banda pura de lignina, indicando que para o ensaio realizado este foi o produto que obteve o melhor desempenho quanto a conservação química da madeira.

A Figura 51 apresenta os valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de marupá sem produtos de acabamento (Testemunha), tratadas com verniz comum e marítimo, submetidas ao intemperismo artificial.

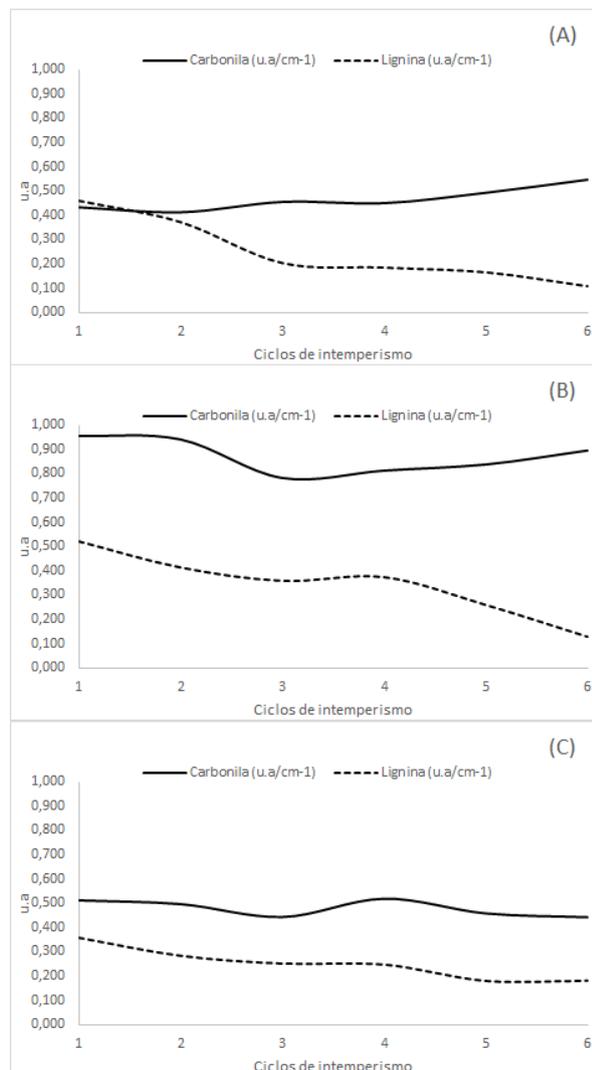


Figura 51. Valores da variação na intensidade das bandas de carbonila e lignina para a madeira de marupá sem produtos de acabamento (Testemunha - A), tratadas com verniz comum (B) e marítimo (C), submetidas ao intemperismo artificial.

Observa-se o decaimento da banda de lignina, tanto para a testemunha como para o verniz comum. A banda do verniz marítimo decaiu com menos intensidade, confirmando os dados da Tabela 22.

De uma forma geral, para o intemperismo artificial, houve respostas positivas dos produtos de acabamento para as madeiras estudadas. Decidir o melhor produto a ser utilizado, depende da espécie e também do custo do produto. Isso mostra que as espécies possuem diferenças em seus constituintes químicos, influenciando no comportamento do produto de acabamento, dando performance diferentes a estes.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que:

- Todas as madeiras testadas sofreram variação colorimétrica apreciável ou muito apreciável, alterando suas cores iniciais, para todos os tratamentos tanto no ensaio de intemperismo artificial quanto o ensaio de intemperismo natural.
- O ensaio de intemperismo natural foi mais agressivo quando comparado com o ensaio de intemperismo artificial, talvez devido ao tempo de exposição maior, levando um escurecimento da cor das madeiras, em alguns casos, a cor foi classificada como “preta” ao final do ensaio.
- A madeira de ipê tratada com verniz comum foi a que sofreu menor variação colorimétrica durante o ensaio de intemperismo natural e artificial. Isso pode ter ocorrido devido a densidade mais elevada da espécie e também a sua cor mais escura influenciada pela composição química e anatômica.

- Espécies mais escuras e com maior densidade foram a que obtiveram menor rugosidade inicial, provavelmente devido a composição química e anatômica das mesmas. Em todas as amostras ensaiadas, houve aumento significativo na rugosidade média, no entanto, o aumento foi menor em amostras que foram tratadas com verniz marítimo, indicando que este produto é o que mais protegeu as amostras nas condições testadas.
- A rugosidade das madeiras no ensaio de intemperismo artificial não foi tão agressiva quando comparado ao ensaio de intemperismo natural.
- A rugosidade da madeira de cedro tratada com verniz marítimo foi a que menos sofreu variação quando submetida ao intemperismo artificial e natural.
- Nas condições climáticas em que ocorreu o ensaio de intemperismo natural, bem como com a norma utilizada para o ensaio de intemperismo artificial, foi mensurado para cada espécie estudada a quantificação de dias de intemperismo natural correspondente a um dia de intemperismo artificial, utilizando os resultados de colorimetria. Assim, para madeira de cedro, 1 dia de intemperismo artificial corresponde a 4 dias de intemperismo natural. Para madeira de ipê, 1 dia de intemperismo artificial corresponde a 2 dias de intemperismo natural. Para madeira de marupá, 1 dia de intemperismo artificial corresponde a 31 dias de intemperismo natural e para a madeira de maçaranduba 1 dia de intemperismo natural corresponde a 4 dias de intemperismo natural;
- Utilizando análise de microscopia eletrônica de varredura foi detectado que todas as espécies submetidas ao intemperismo natural apresentaram possível presença de estruturas xilófagas após o processo de intemperismo.
- Em relação a variação química utilizando a técnica de MIR, a menor variação ocasionada pelos processos de intemperismo artificial e natural ocorreram nas

madeiras de cedro tratadas com verniz marítimo, sendo esse tratamento o que mais preservou a banda pura de lignina durante o intemperismo, em relação as madeira de maçaranduba e cedro, é recomendado utilizar outro tipo de análise química para que seja possível obter dados químicos dessas madeiras, visto que através do MIR não é possível uma leitura clara dos espectros.

6 RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se para futuros trabalhos, obter uma alternativa para leitura química das madeiras escuras, como as de ipê e maçaranduba, visto que através da microscopia eletrônica de varredura não é possível obter espectros precisos das suas bandas puras de lignina. Bem como, recomenda-se também que seja feita uma análise mais aprofundada sobre os organismos xilófagos que podem estar atacando as madeiras durante o processo de intemperismo natural, bem como a influências desses organismos no processo de degradação das amostras e variação dos seus constituintes físicos e químicos.
- Recomenda-se ainda, o prolongamento de ciclos de intemperismo (tempos mais longos) principalmente, para o intemperismo artificial. Uma adaptação da norma levando em consideração os fatores climáticos médios de cada região de estudo também poderiam ser testados em trabalhos futuros, objetivando chegar as condições artificiais (intemperismo) próximas as condições naturais (intemperismo). Certamente isto iria colaborar para obter dados mais precisos, em termos de tempo, correspondente entre o intemperismo natural e artificial.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, A. et al. Efecto de un envejecimiento acelerado mediante rayos uv en la propagación superficial de grietas de debobinado en tableros contrachapados de Eucalyptus nitens. **Maderas y tecnologia**, v. 15, n 1, p.45-56,2013.

AFROUZI, Y. M.; OMIDVAR, A.; MARZBANI, P. **Effect of artificial weathering on the wood impregnated with Nano-Zinc Oxide**. *Advances in Environmental Biology* (aensi), 8 (10) June 2014, Pages:979-983

ALMEIDA, J. M. V. **Mudanças Climáticas no Distrito Federal**. Tese de Doutorado pelo Programa de PósGraduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 4287: especificações geométricas do produto (GPS): rugosidade: método do perfil: termos, definições e parâmetros da rugosidade**. Rio de Janeiro; 2002. 18 p

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G 154 - Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials**. Philadelphia, PA, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2244 - Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates**. Philadelphia, USA, 2009.

ANGELO, H.; BRASIL, A. A.; SANTOS, J. **Madeiras tropicais: análise econômica das principais espécies florestais exportadas**. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 31, n. 2, p. 237 - 248, 2001.

BARRETO, C. C. K.; PASTORE, T. C. M. **Resistência ao intemperismo artificial de quatro madeiras tropicais: o efeito dos extrativos**. *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 23-30, 2009.

BARRICHELO, L.E.G. & BRITO, J.O. **Química da madeira**. Piracicaba, SP, ESALQ, 1985. 125p.

BAYER, C. **Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais e subtropicais**. FERTBIO, 26., 2004. Lages. Anais... Lages: UDESC e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. CD-ROM.

BERG, J.C. **Chapter 2. Role of acid-base interactions in wetting and related phenomena**. In: *Wettability*. ed. J.C. Berg. pp. 75–148, Marcel Dekker, New York. 1993.

BEATRICE, G.; SUTTIE, E.; MERLIN, A.; Deglise, X. **Photodegradation and photostabilization of wood - The state of the art**. 88:268–274. *Polym Degrad Stab*, 2005

BRAGA, P. P. C.; SILVA, J. R. M.; GONTIJO, T. G.; TEIXEIRA, R. L.; NUNES, A. C. M. **Qualificação de superfícies de diferentes madeiras usinadas**. In: Anais Simpósio de Pós-Graduação em Ciências Florestais; 6.; Simpósio de Ciência e Tecnologia da Madeira do Rio de Janeiro; 2.; 2010; Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: IF, 2010.

BRAUN, J. L., HOLTMAN, K. M., KADLA, J. F. "**Lignin-Based carbon fibers: Oxidative thermostabilization of kraft lignin**", Carbon, v. 43, pp. 385-394, 2005.

BROWNING, B.L. **The Chemistry of wood**. New York, John Wiley & Sons, 1963.

689p.

BURDURLU, E.; USTA, I.; ULUPINAR, M.; AKSU, B.; ERASLAN, Ç. **The effect of the number of blades and grain size of abrasives in planing and sanding on the surface roughness of European black pine and Lombardy poplar**. Turkish Journal of Agriculture & Forestry 2005; 25:315-321

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo. Livraria Nobel S.A, 154 p. 1991.

BURNS, D. A. & CIURCZAK, E. W. (Ed.). **Handbook of near-infrared analysis**. CRC press, 2007.

CADEMARTORI, P. H. G. D., MATTOS, B. D., MISSIO, A. L., & GATTO, D. A. Colour responses of two fast-growing hardwoods to two-step steam-heat treatments. Materials Research, v. 17, n. 2, p. 487-493, 2014.

CAMARGOS, J. A. A. Colorimetria aplicada na elaboração de uma tabela de cores para madeiras tropicais. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade de Brasília, 1999.

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

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 640 p.

CATEIN, F. A. **Caracterização da madeira de Cedrela odorata destinada a fabricação de ofurô.** Monografia apresentada para conclusão de curso, Universidade federal do espírito santo, 2019.

CAVALCANTE, L.C. **Avaliação de novas espécies madeireiras na fabricação do cajón.** Monografia, Universidade de Brasília, Brasília. 35 pp. 2006.

CHEDGY, R.J., MORRIS, P.I., LIM, Y.W., BREUIL, C. **Black stain of western red cedar (Thuja plicata Donn) by Aureobasidium pullulans: the role of weathering.** Wood Fiber Sci. 39, 472–481. 2007.

CHEN, Y., FAN, Y., GAO, J., & STARK, N. M. **The effect of heat treatment on the chemical and color change of black locust (Robinia pseudoacacia) wood flour.** BioResources, v. 7, n. 1, p. 1157-1170, 2012.

COATES, J. **A review of current and new technology used in instrumentation for industrial vibrational spectroscopy.** Spectroscopy, v. 14, n. 10, p. 20+, 1999.

COGULET, A., BLANCHET, P., LANDRY, V. **Wood degradation under UV irradiation: a lignin characterization.** J. Photochem. Photobiol. B Biol. 158, 184–191. 2016.

CONTE, B., MISSIO, A. L., PERTUZZATTI, A., CADEMARTORI, P. H. G., & GATTO, D. A. **Propriedades físicas e colorimétricas da madeira termorretrificada de Pinus elliottii var. elliottii.** Scientia Forestalis, v. 42, n. 104, p. 555-563, 2014.

CRUZ, M. M. S. Estudo da molhabilidade da madeira de pinho pela redina ureiaformaldeído. Dissertação (**Mestrado em Engenharia de Materiais Lenhocelulósicos**) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 2006.

DA SILVA OLIVEIRA, J. T., DE SOUZA, L. C., DELLA LUCIA, R. M., & DE SOUZA JÚNIOR, W. P. **Influência dos extrativos na resistências ao apodrecimento de seis espécies de madeira.** Revista Árvore, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005.

DA SILVA, F. A. M., ASSAD, E. D., STEINKE, E. T., & MÜLLER, A. G. **Clima do bioma Cerrado. Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas.** ALBUQUERQUE, ACS, p. 93-148, 2008.

DA SILVEIRA, P. E. S., STEFENON, V. M., DA SILVEIRA, N. C. A., MIRIN, R., & DE ANDRADE PINTO, J. **Teste de germinação e avaliação de diferentes substratos com a espécie cedro cedrela fissilis**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 6, n. 2, 2014.

DANIEL, T.; HIRSCH, M. S.; MCCLELLAND, K. **Finding the balance between aesthetics and durability**. J. C. T. Coating Tech., Blue Bell, v. 1, n. 9, p. 42-48, 2004

DEFLORIAN, F., ROSSI, S., FEDRIZZI, L., ZANELLA, C., 2007. **Comparison of organic coating accelerated tests and natural weathering considering meteorological data**. Prog. Org. Coating 59, 244–250

DERBYSHIRE, H.; MILLER, E.R. **The photodegradation of wood during solar irradiation. I. Effects on the structural integrity of thin wood strips**. Holz RohWerkstoff;39:341–350. 1981

DE SOUZA, A. P., MOTA, L. L., CASAVECCHIA, B. H., STANGERLIN, D. M., & DE MELO, R. R. **Variação anual da umidade de equilíbrio e da cor de madeiras amazônicas submetidas a ensaios de campo**. Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science), v. 10, n. 3, 2019.

DONG, Y. SHEN, X. ZHANG, S. LI, J. **Dynamic mechanical properties and thermal stability of furfuryl alcohol and nano-SiO₂ treated poplar wood**. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2015. p. 012027.

EATON, R.A.; HALE M.D.C. 1993. **Wood Decay, Pests and Protection**. London: Chapman & Hall.546 p.

EVANS, P.D., BANKS, W.B. Degradation of wood surfaces by water. Holz als RohWerkst. 48, 159–163. 1990.

EVANS P. D, MICHELL A. J AND SCHMALZL K. J. **Studies of the degradation and protection of wood surfaces**. Wood Sci Technol 1992; 26: 151–163.

EVANS, P.D., THAY, P.D., SCHMALZL, K.J., 1996. **Degradation of wood surfaces during natural weathering. Effects on lignin and cellulose and on the adhesion of acrylic látex primers**. Wood Sci. Technol. 30, 411–422.

EVANS, P. CHOWDHURY, J. M. MATHEWS, B. SCHMALZL, B. SAYER, K. KIGUCHI, M. KATAOKA, Y. **Handbook of Environmental Degradation of Materials.** New York: William Andrew Inc., 2005.

FEIST W. C.; HON D. N. S. **Chemistry of weathering e protection.** In: ROWELL, R. M. The chemistry of solidwood. Washington D.C.: American Chemical Society, p. 401-454, 1984.

FERRAZ, I.D.K.; LEAL-FILHO, N.; IMAKAWA, A.M.; VARELA, V.P.; PINARODRIGUES, F.C.M. **Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeireiras da floresta de terra firme da Amazônia Central.** Acta Amazônica, v.34, p.621- 633, 2004.

GARCIA, R., TRIBOULOT, MC, MERLIN, A., & DEGLISE. **Variation of the viscoelastic properties of wood as a surface finishes substrate.** Wood Sci Technol 2000; 34: 99–107.

GARTLAND, H. M.; VOGEL, H.; BOHREN, A. V.; GRANCE, L. A.; CABRAL, J. **Ficha técnica de árvores de Missiones: Cedrelafissilis Vell. Aspectos dendrológicos.** Yvyrareta, Eldorado, v. 7, n. 7, p. 38 - 41, 1996.

GODOY, L. B. L. N. **Determinação de parâmetros de qualidade em madeira utilizando espectroscopia no infravermelho próximo e calibração multivariada.** Dissertação - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, SP, 2010.

GONÇALEZ, J. C. **Caracterisation technologique de quatre espèces peu connues da la forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques.** Nancy, 1993. 446f.: il. Thèse (Doctorat) - Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Nancy, 1993.

GONÇALEZ, J. C.; BREDA, L. C. S.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G. COSTA, A. F.; VALE, A. T. **Características tecnológicas das madeiras de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden e Eucalyptus cloeziana F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006.

GONÇALEZ, J. C; FÉLIX, T. L. F; GOUVEIA, F. N; CAMARGOS, J. A. A.; RIBEIRO, P. G; **Efeito da radiação ultravioleta na cor da madeira de freijó (Cordia goeldiana**

Huber) após receber produtos de acabamentos. Santa Maria, Rev. Ciência Florestal, vol. 20, núm 4, p. 657-664, out/dez, 2010.

GONÇALEZ, J.C & ZERBINI, N.J. **Atividade florestal madeireira na área de influência do complexo hidrelétrico Belo Monte (PA): cadeia produtiva e propriedades tecnológicas de espécies pouco conhecidas.** Brasília, UnB/ELETRONORTE/ANEEL/FINATEC, 2010, 128p.

GEORGE, B.; SUTTIE, E.; MERLIN, A.; DEGLISE, X. **Photodegradation and photostabilisation of wood: The state of the art.** Polym. Degrad. Stab. 2005, 88, 268–274.

HAZARIKA, A. MANDAL, M. MAJI, T. K. **Dynamic mechanical analysis, biodegradability and thermal stability of wood polymer nanocomposites. Composites Part B: Engineering,** v. 60, p. 568-576, 2014.

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

HON, D. N. S. **Weathering and photochemistry of wood.** In: Hon, D.N.-S.; Shiraishi, N. Wood and cellulosic chemistry. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 2001.

HORA DE CARVALHO, L. **Caractérisation physico-chimique de la surface du chêne pédonculé.** Master Thesis in Wood Science, Universiy Henri Poincaré Nancy I, Nancy. 1990.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas de Brasília / DF. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>. Acesso em dezembro de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA. **Castanha-de-macaco: Cariniana micranta Ducke.** Manaus, 2007. (Informativo Técnico: Rede de Sementes da Amazônia, 15).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO - IPT. Informações sobre Madeiras. 2011. Disponível em: <http://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira> Acesso em: Maio de 2019.

JANES, R. L. **The Chemistry of wood and Fibres. In: The pulping of Wood. Joint Textbook Committee of the Paper Industry.** Second edition, Vol. I. McGraw-Hill Book Company. New York. 1969.

JIS – JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD. **Geometrical Products Specifications (GPS) – Surface texture: profile method – Terms, definitions and surfaces texture parameters.** JIS B 0601. Tokyo, 2001.

KATAOKA, Y., KIGUCHI, M. **Depth profiling of photo-induced degradation in wood by FT-IR microspectroscopy.** J. Wood Sci. 47, 325–327. 2001.

KILIC, M; HIZIROGLU, S; BURDURLU, E. **Effect of machining on surface roughness of wood.** Building and Environment, v. 41, n. 8, p. 1074-1078, 2006.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de Pinnus.** Curitiba, 2005. (Tese de Doutorado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

KONICA MINOLTA SENSING AMERICAS Inc. **Comunicação precisa da cor.** 1998. 57 p.

KONICA MINOLTA SENSING AMERICAS Inc. **Colorimetria: Como medir diferenças de cor.** konica Minolta Sensing Americas, Inc. 101 Williams Drive Ramsley, 2014.

LEÃO, F. C.; GONÇALEZ, J. C.; RIBEIRO, E. S.; SOUZA, R. S.; PAULA, M. H.; MARTINS, G. V. **Efeito do intemperismo artificial na rugosidade e na cor da madeira de cedro (cedrelaodorata l.) tratada com um produto de acabamento.** Biodiversidade. v. 16, n. 1, 2017.

LEARY, G. **Photochemical production of quinoid structures in wood.** Nature 217,672–673. 1968.

LEPAGE, E. S.; OLIVEIRA, A. M. F.; LELIS, A. T.; LOPEZ, G. A. C.; CHIMELO, J. P.; OLIVEIRA, L. C. S.; CAÑEDO, M. D.; CAVALCANTE, M. S.; IELO, P. K. Y.; ZANOTTO, P. A.; MILANO, S. **Manual de preservação de madeiras.** São Paulo: IPT. 2. ed., 1986. 708 p.

- LOUREIRO A. A, SILVA, M. F. ALENCAR, J. C. **Essências madeireiras da Amazônia.** Manaus: INPA; 1979. 187 p. v. 2
- LUO, J. Lignin-based carbon fiber, **Dissertação de mestrado**, Universidade de Maine, [s.l.], 2010.
- MAIA, J. H., MOURA, M. D., MAGALHÃES, A. S., & DE CASTRO, V. G. **Comportamento colorimétrico da madeira de maçaranduba tratada com produtos de acabamento.** *Nativa*, v. 6, p. 767-772, 2018.
- MADY, F. T. M. **Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais.** Manaus: SEBRAE-AM, 2000. 212 p
- MARQUES, M. H. B. MARTINS, V. A. SOUZA, M.R. MARCUS, V. S. A. **Efeito da secagem nas propriedades acústicas da madeira de marupá (Simarouba amara Aubl.).** *Floresta & Ambiente*, 12: 57-64. 2006.
- MARTINS, S. SANTOS, C. M. T. GONÇALEZ, J. C. CAMARGOS, J. A. A. **Envelhecimento artificial acelerado por radiação ultravioleta de madeiras de *Eucalyptus benthamii* e *Pinus caribaea var. hondurensis*.** *Revista Floresta*, Curitiba, v.41, n.1, p.87-96p, jan./mar. 2011.
- MCNALLY, A.M., MOODY, E.C., MCNEILL, K. **Kinetics and mechanism of the sensitized photodegradation of lignin model compounds.** *Photochem. Photobiol. Sci.: Official j. Eur. Photochem. Assoc. Eur. Soc. Photobiol.* 4, 268–274. 2005.
- MELO, J. E. de; CAMARGOS, J. A. A. Marupá. In: MELO, J. E. de; CAMARGOS, J. A. A. **A madeira e seus usos.** 2012. Disponível em: <<http://www.mundoflorestal.com.br/mediawiki1612/index.php?title=Marup%C3%A1>>. Acesso em: 20 mar. 2019.
- MESQUITA, R. R. S. D. **Comportamento das madeiras de curupixá (*Micropholis* sp.) e tauari (*Couratari* sp.) submetidas ao intemperismo artificial com diferentes produtos de acabamento.** 2016. xii, 59 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)—Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- MILAGARES, F.R. **Espectroscopia e o estudo da interação de radiação letromagnética.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.

MITUTOYO CORPORATION. **SJ - 301 Surftest Roughness Tester**. User`s manual, 2004. 346p.

MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**, 3 ed. DETF, 2010. 176p.

MORI, C. L. S. O. et al. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* pp. *Cerne*, v.11, n.2, p.137-146, 2005.

MÜLLER, U., RÄTZSCH, M., SCHWANNINGER, M., STEINER, M., & ZÖBL, H. **Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV-irradiation**. *J Photochem Photobiol B Biol* 2003; 69: 97–105.

NAES, T., ISAKSSON, T., FEARN, T., DAVIES, T. **A User-Friendly Guide to Multivariate Calibration and Classification**. NIR Publications, 2002.

NAHUZ, M. A. R.; MIRANDA, M. J. A. C.; IELO, P. K. Y.; PIGOZZO, R. J. B.; YOJO, T. **Catálogo de madeiras brasileiras para construção civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2013. 103p. (Publicação IPT, 4371).

NEVES, G, de S. **Efeito da aplicação de extrativos naturais e produtos de acabamento na superfície das madeiras de cedro (*Cedrela odorata*) e freijó (*Cordia goeldiana*) expostas ao intemperismo acelerado**. 2019. 115 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)—Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

NUOPPONEN, M. H.; BIRCH, G. M.; SYKES, R. J.; LEE, S. J.; STEWART, D. **Estimation of wood density and chemical composition by means of diffuse reflectance mid-infrared Fourier transform (DRIFT-MIR) spectroscopy**. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 54, n. 1, p. 34-40, 2006.

OLIVEIRA, A.M.F.; LELIS, A.T.; LEPAGE, E.S. **Agentes destruidores da madeira**. In: Lepage, E.S. *Manual de preservação de madeiras*. São Paulo: IPT, 1986. v. 1, p. 99-278.

OWEN, J.A.; OWEN, N.L.; FEIST, W.C. **Scanning electron microscope and infrared studies of weathering in Southern pine**. *J. Mol. Struct.*, v. 300, p. 105-114, 1993.

PACE, J. H. C., CARVALHO, A. M., DO NASCIMENTO, A. M., LATORRACA, J. V. F., & JÚNIOR, A. F. D. **A ação do intemperismo interfere no acabamento superficial e na coloração da madeira de espécies florestais**. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 61, 2018.

PANDEY, K. K.; PITMAN, A. J. **FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi.** *International Biodeterioration & Biodegradation*. Birmingham, v. 52, n. 3, p. 151-160, 2003.

PASTORE, T. C. M. **Estudos do efeito da radiação ultravioleta em madeiras por espectroscopias RAMAN (FT-RAMAN), de refletância difusa no infravermelho (DRIFT) e no visível (CIE-L*a*b*).** 2004. 131 p. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PEREIRA, T. L.; CARVALHO, C. L.; PRADO, N. R.T.; MENDES, R. F.; JUNIOR, J. B. G.; TOLONI, G. H. D. **Efeito do intemperismo natural e artificial acelerado nas propriedades físicas, mecânicas e colorimétricas de painéis OSB.** *Revista Sci, For.*, Piracicaba, v.45, n. 115, p. 573-580, set.2017.

PETRILLO, M., SANDAK, J., GROSSI, P. E SANDAK, A. **Mudanças químicas e de aparência da madeira devido ao intemperismo artificial - modelo dose-resposta.** *Journal of Near infrared Spectroscopy* , v. 27, n. 1, p. 26-37, 2019.

PETTERSEN, R.C. **The chemical composition of wood.** In: ROWELL, R.(ed). *The chemistry of solid wood*. Washington, American Chemical Society, 1984. p.54- 126.

PODGORSKI, L., MERLIN, A., DEGLISE, X. **Analysis of the natural and artificial weathering of a wood coating by measurement of the glass transition temperature.** *Holzforschung* 50, 282–287. 1996.

PORTELA, M. S. **Estudo das propriedades acústicas da madeira amazônica Marupá para tampo de violão.** Tese (**Doutorado em Engenharia Mecânica**). Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira.** São Paulo, Edgard Bücher, 1971. p. 37-44.

ROSA, S. E. S. DA; CORREA, A. R.; LEMOS, M. L. F.; BARROSO, D. V. **O setor de móveis na atualidade: uma análise preliminar.** *BNDES setorial*, (25), 65-106, 2007.

ROWELL, R. M. **“Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites”**, Taylor and Francis, Boca Raton, FL, 2005.

SADOH, T; NAKATO, K. **Surface properties of wood in physical and sensory aspects.** *Wood science and Technology*, v. 21, n. 2, p. 111-120, 1987.

SANDAK A, SANDAK J AND RIGGIO M. **Assessment of wood structural members degradation by means of infrared spectroscopy: an overview.** Struct Control Hlth 2016; 23: 396–408.

SCHALLER, C; ROGEZ, D. **New approaches in wood coating stabilization.** Journal of Coatings Technology and Research, v. 4, n. 4, p. 401-409, 2007.

SENAI- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Acabador de móveis.** Ubá: CFP/JAGS, 1995. 29 p.

SCHNEIDER, P. S. P., SCHNEIDER, P. R., & FINGER, C. A. G. **Crescimento do ipê-roxo, *Tabebuia impetiginosa* Martius ex AP de Candolle, na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul.** Ciência Florestal, 10(2), 91-100. 2000.

SHELDON, S. GARDNER, D. Dynamic adhesive wettability of wood. Wood and Fiber Science. 33 (1), 58–68. 2001.

SILVA, J. O.; PASTORE, T. C. M.; PATORE JUNIOR, F. **Resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento.** Santa Maria: Ciência Florestal, v. 17, n. 1, 2007. p. 17-23.

SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; BRAGA, P. P. C.; TRUGILHO, P.F. **A utilização de rugosímetro na qualificação de superfícies usinadas em madeiras de *Eucalyptus* sp.** In: Anais Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira; 10.; São Pedro. São Pedro: UNESP; 2006

SILVA, J. R. M; BRAGA, P. P. C; MARTINS, M; FILIPE, A. P. **Identificação de parâmetros de rugosidade para qualificação de pisos de *Eucalyptus grandis*.** In: Anais Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira. 11., 2008; Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2008.

SILVA, E. D. S. **Durabilidade natural da madeira de cinco espécies amazônicas submetidas a ensaios de intemperismo natural,** Trabalho para conclusão de curso, UFMT, 2015.

SKOOG, Douglas A. et al. **Fundamentos de química analítica.** 8. ed. São Paulo: Thomson, 2006.

SLOOTEN, H.J. VAN DER. SOUZA, M. R..**Avaliação das espécies madeiras da Amazônia selecionadas para a manufatura de instrumentos musicais.** Manaus: INPA, 1993. 123 p.

SORAGI, L. C. **Qualidade de superfícies usinadas em madeira de Toonaciliata M. Roem.** Lavras: UFLA, 2009.

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; ALVES CAMARGO, J. A. **Madeiras tropicais brasileiras: brazilian tropicales woods.** Instituto Brasileiro do Meio ambiente e dos recursos naturais renováveis. 155p. 1997.

SOUZA, M. O. A. D., CASTRO SILVA, J. D., LUCIA, R. M. D., & EVANGELISTA, W. **Avaliação da madeira de Eucalyptus camaldulensis Dehnh e Eucalyptus urophylla ST Blake em ensaios de usinagem, visando a produção moveleira.** Revista *Árvore*, v. 33, n. 4, 2009.

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; ALVES CAMARGO, J. A. **Madeiras tropicais brasileiras volume 2: brazilian tropicales woods.** Instituto Brasileiro do Meio ambiente e dos recursos naturais renováveis. 156p. 2014.

SULAIMAN, O.; HASHIM, R.; SUBARI, K.; LIANG, C. K. **Effect of sanding on surface roughness of rubberwood.** *Journal of Materials Processing Technology*, v. 209, n. 8, p. 3949-3955, 2009.

TELES, R. F., da COSTA, A. F., & de SOUZA, M. R. **Análise da influência do tratamento preservativo na cor e rugosidade de superfícies de madeiras tropicais.** *Floresta e Ambiente*, v. 23, n. 1, p. 100-108, 2016.

TEMIZ, A.; YILDIZ, U. C.; AYDIN, I.; EIKENES, M. ALFREDSEN, G.; ÇOLAKOGLU, G. **Surface roughness and color characteristics of wood treated with preservatives after accelerated weathering test.** *Applied Surface Science*. n.250. 2005. p. 35 – 42.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da Qualidade da Madeira de Espécies de Pinus Tropicais por meio de Métodos Convencionais e Não Destrutivos.** Tese (**Doutorado em Ciências Florestais**) – UFPR, Curitiba. 2012.

TRUGILHO, P. F., LIMA, J. T., & MENDES, L. M. **Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de Eucalyptus saligna.** *Cerne*, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

TSOUMIS, G. T. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization.** New York: Chapman e Hall, 1991. 479 p

VARANDA, L. D.; ALVES, M. C. S.; GONÇALVES, M. T. T.; SANTIAGO, L. F. F. **A influência das variáveis do lixamento tubular na qualidade das peças de Eucalyptus grandis.** Rev, Cerne 2010; 16:23-32.

VIANNA, Ellen Oliveira. **O campo térmico urbano: ilhas de calor em Brasília - DF.** 2018. 267 f., il. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) —Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

Vieira, L. A. A. **Molhabilidade e cor da madeira de Khaya ivorensis termorretrificada.** 2014.

WILLIAMS, R. S. Weathering of wood, In: ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites.** Florida: CRC Press, 2005. p. 139-185.

XIE, Y.; KRAUSE, A.; MAI, C.; MILITZ, H.; RICHTER, K.; URBAN, K.; EVANS, P.D. **Weathering of wood modified with the N-methylol compound 1,3- dimethylol-4,5-dihydroxyethyleneurea.** Polym Degrad Stabil; 89:189–199. 2005.

ZENID, G.J. **Madeiras e suas características.** In: OLIVEIRA, J.T.S.; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. Tecnologias aplicadas ao setor florestal brasileiro. Jerônimo Monteiro: 2007. P. 125-158.

ZLAHTIC, M. AND HUMAR M. **Influence of artificial and natural weathering on the hydrophobicity and surface properties of wood.** BioResources 2016; 11: 117–142.

8 APÊNDICE 1

É disponibilizado pelo INMET, de forma online, Climatologia das cidades brasileiras, onde é possível a obtenção dos dados climáticos e suas datas. Tais dados são originados de Estações Convencionais e Estações Automáticas, sendo que nestas os dados climáticos são dispostos por ano, dia e horas. As estações climáticas possuem vários sensores isolados, e uma unidade

de memória central ("data logger", ligada a vários sensores que registram de modo contínuo os parâmetros meteorológicos (Temperatura, radiação solar, umidade relativa do ar, precipitação, etc), que são coletados a cada minuto e disponibilizados por hora (INMET,2021). Colocar no anexo

As medições Climatológicas fornecidas pelo INMET, consideraram os elementos do clima durante o período de maio a novembro de 2018, período em que ocorreu o ensaio de intemperismo natural.

O gráfico 1 apresenta a precipitação média durante os ciclos de intemperismo natural. É observado que entre os meses de maio a agosto (T2 a T4), período de transição entre a estação chuvosa para a seca, a precipitação média é equivalente a zero, com poucas incidências de chuva. A partir de setembro em diante ocorre a estação chuvosa, no qual é observado maior índice de precipitação, sendo em outubro o maior índice chuvoso, constatado no último ciclo de intemperismo natural (T6).

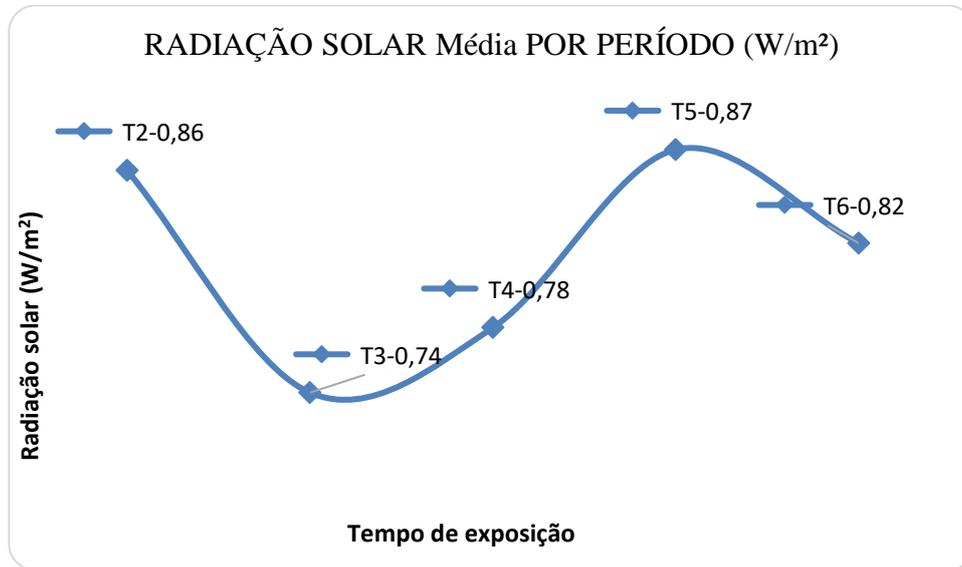
Gráfico 1. Precipitação média dos períodos de intemperismo natural.



Fonte: INMET.

O gráfico 2 apresenta a radiação solar média por período de intemperismo natural.

Gráfico 2. Radiação solar média por período de intemperismo natural.

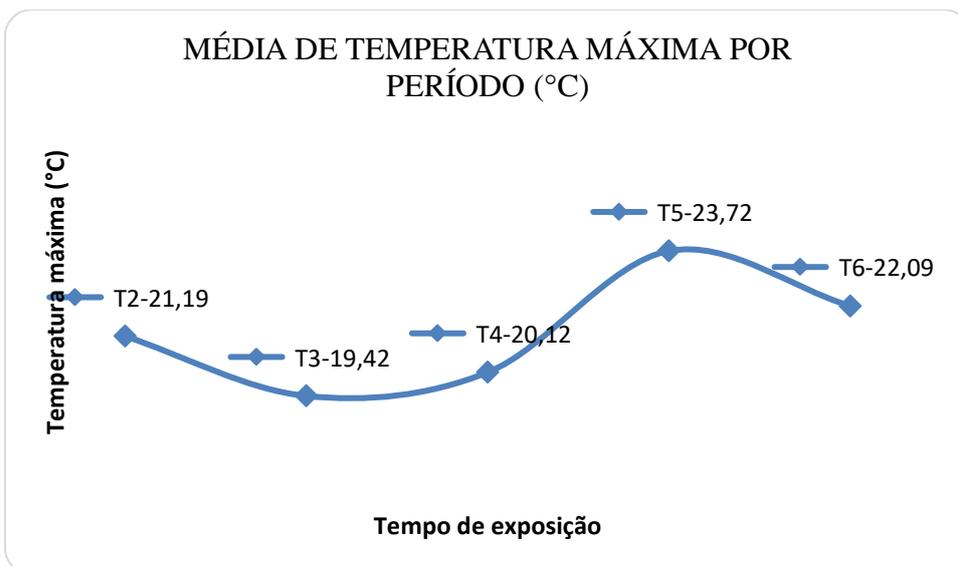


Fonte: INMET.

O gráfico 2 apresenta a média de radiação solar para cada período em que ocorreu o ensaio de intemperismo natural. É observado radiação solar média acima de $0,66\text{W/m}^2$, que é a radiação utilizada no experimento de intemperismo artificial de acordo com a norma ASTM G154 de Ciclo 7, utilizada no trabalho em questão. Os maiores índices de radiação foram observados no período T2 e T5.

O gráfico 3 apresenta a média de temperatura máxima por período de intemperismo natural.

Gráfico 3. Média de temperatura máxima por período de intemperismo natural.

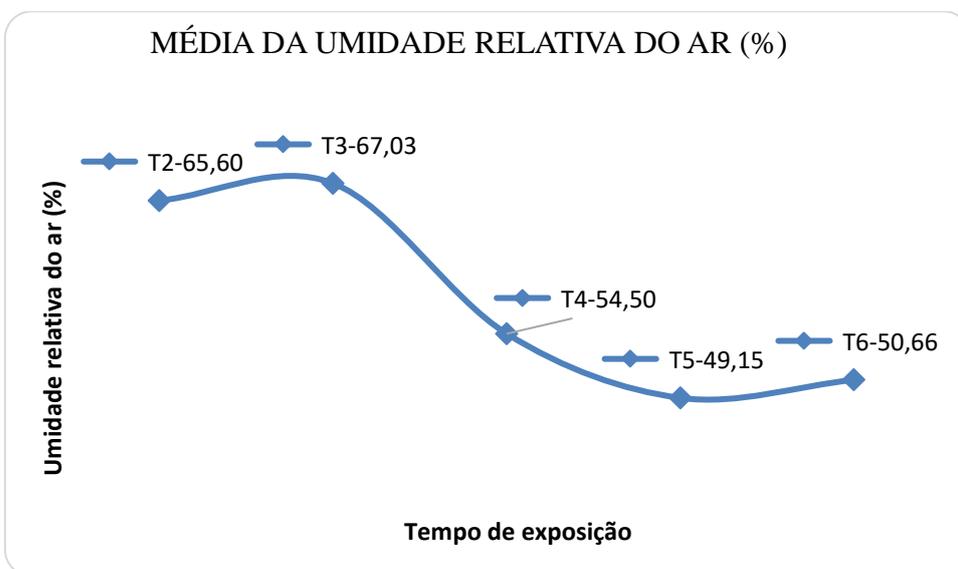


Fonte: INMET.

É observado no gráfico 3. a temperatura média nos períodos de intemperismo natural, no qual a maior temperatura média ocorrida se deu no período T5.

O gráfico 4. Apresenta a média da umidade relativa do ar (%) por período de intemperismo.

Gráfico 4. Média da umidade relativa do ar (%) por período de intemperismo.



Fonte: INMET.

O teor de umidade do ar pode ser fator significativo na alteração das características da madeira, que quando exposta ao ambiente sofre interação com o meio através de trocas de vapor d'água entre a madeira e o ar atmosférico (de Souza et al., 2019).