

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

SABRINA FERNANDA SARTÓRIO POLETO

Telhas fabricadas com resíduos de madeira de reflorestamento de *Pinus* sp.
tratados com CCB, para o emprego na construção civil – caracterização física
e propriedades térmicas

São Carlos
2020

SABRINA FERNANDA SARTÓRIO POLETO

Telhas fabricadas com resíduos de madeira de reflorestamento de *Pinus* sp. tratadas com CCB, para o emprego na construção civil – caracterização física e propriedades térmicas

Versão Corrigida

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Área de concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais.

Orientador: Francisco Antonio Rocco Lahr.

São Carlos

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

P763t Poletto, Sabrina Fernanda Sartório
Telhas fabricadas com resíduos de madeira de reflorestamento de Pinus sp. tratadas com CCB, para o emprego na construção civil - caracterização física e propriedades térmicas / Sabrina Fernanda Sartório Poletto; orientador Francisco Antonio Rocco Lahr. São Carlos, 2020.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais e Área de Concentração em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2020.

1. Resíduos de madeira. 2. Painéis de partículas de madeira. 3. Telhas. 4. Propriedades térmicas. 5. Absortância. 6. Tecnologia de inovação. 7. Habitação.
I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Arquiteta e Urbanista **SABRINA FERNANDA SARTÓRIO POLETO**.

Título da tese: "Telhas fabricadas com resíduos de madeira de reflorestamento de Pinus sp. tratadas com CCB para o emprego na construção civil –caracterização física e propriedades térmicas".

Data da defesa: 06/04/2020.

Comissão Julgadora

Resultado

Prof. Titular **Francisco Antonio Rocco Lahr**
(Orientador)

(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC-USP)

Aprovada

Profa. Dra. **Rosane Aparecida Gomes Battistelle**

(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita filho"/UNESP – Bauru)

Aprovada
Rosane Battistelle

Prof. Dr. **Eduardo Chahud**

(Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG)

Aprovada

Prof. Dr. **Diego Henrique de Almeida**

(Universidade Federal de Rondônia/UFRO)

Aprovada

Dra. **Bárbara Branquinho Duarte**

(Pós- Doutorado/CNPQ)

Aprovada
Bárbara B. Duarte

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais:

Prof. Associado **Marcelo Falcão de Oliveira**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

Dedico essa Tese,

aos meus pais, Vitório e Célia, pelo apoio eterno;
ao meu orientador Rocco, por mais esta oportunidade;
a minha amiga e eterna orientadora Fatí, por me incentivar sempre;
a minha família e àqueles que diretamente ou indiretamente
acreditam no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, mais uma vez a Vida, por ter me desafiado tanto nesses últimos anos, e que por um momento me fez pensar em desistir, mas também, em me superar, ir mais além. Agradeço por ela ser difícil, dura, intensa, bela e única;

Aos meus pais, pelo apoio ao longo desta vida. Por estarem sempre presentes e participarem ativamente deste trabalho. Por sempre se prontificarem a me ajudar. Ao meu pai Vitório Poletto Neto, que tantas vezes me levou ao LaMEM por eu simplesmente não conseguir ir só, seja por causa das crises de labirintite ou por estar com o pé quebrado (nem sei mais os porquês!). Pela paciência de me esperar, as vezes por horas, sem ao menos se cansar nem nunca reclamar. Agradeço a minha mãe Célia Maria Sartório Poletto pelo mesmo e pela dedicação a família, por sempre me escutar, estar ao meu lado e por simplesmente me fazer rir nos momentos mais inusitados. Agradeço por serem mais do que pais e avós maravilhosos, serem meus amigos. Obrigada por me escolherem na vida de vocês.

Agradeço a Breno e Sálua Poletto por me apoiarem nesta etapa final do trabalho; e pelos beijos e abraços inocentes dos meus sobrinhos, Miguel e Beatriz, que mesmo não compreendendo a situação, me deram leveza e a alegria em vários dias de estudos e trabalho. Essencial para que eu retomasse o fôlego e continuasse;

Agradeço ao Fábio Luis Ventrilho, pelas reflexões essenciais na finalização desta tese e pelo companheirismo em todas as situações. Pelas conversas demoradas, pelas gargalhadas e pelos momentos de silêncio, todos essenciais para que eu pudesse escrever. Pelos copos de água ao lado da cama, tantas vezes esquecidos. Pelos fundos musicais, que muito me inspiraram e me inspiram. Agradeço por me respeitar, me escutar, pelos abraços apertados, pela paciência, por sempre me apoiar, por ser meu amigo, meu músico, meu noivo e meu marido. Obrigada por fazer parte da minha história, Vida;

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr, por mais este trabalho, pelo apoio e pela orientação ao longo do meu percurso acadêmico. Pela compreensão e conselhos em todos os momentos no decorrer desta pesquisa. Por tornar as conversas leves, pelas piadas, as vezes demoradamente entendidas. Por me ajudar a retomar e focar no trabalho no momento em que mais precisava. Obrigada pelo reconhecimento, pela amizade, por contribuir para o meu crescimento.

À pesquisadora, amiga, guerreira, conselheira e “mãe”, Maria de Fátima do Nascimento. Obrigada por sempre me ajudar e por não agir diferente no momento em que mais precisei. Por me ensinar tanto e com tanta simplicidade e humildade.

Obrigada pelas conversas sinceras, por acreditar no meu trabalho e em mim. Por contribuir com o seu trabalho para que eu aprofundasse e realizasse o meu. Pelo apoio, pela orientação, conselhos profissionais, pessoais e espirituais. Obrigada por estar na minha vida;

Ao Prof. Dr. Juliano Fiorelli, Prof^a. Dr^a. Rosane Aparecida Gomes Battistelle e Dr^a. Maria Fátima do Nascimento, que participaram da Qualificação desta tese, e me deram as diretrizes necessárias para eu desenvolver o restante do trabalho.

Ao Prof. Dr. Ernesto Chaves Pereira e ao pesquisador Dr. Ailton José Moreira, do Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica - LIEC, do Instituto de Química da UFSCAR, por ceder o uso do equipamento e pela ajuda para realização dos ensaios de Reflectância Difusa. Muito obrigada pela colaboração.

Ao Prof. Dr. Juliano Fiorelli, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de alimentos da USP do campus de Pirassununga, por permitir o uso do equipamento do Laboratório de Construções rurais e Ambiente, para realização dos ensaios de Condutividade térmica, e à Mariana Pavesi, pela colaboração e ajuda neste momento. Meu muito obrigada.

A Plural Química Ltda, por ceder a resina poliuretana à base de óleo de Mamona, essencial para minha pesquisa.

À CAPES, pelo presente trabalho, que foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001;

Ao Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras – LaMEM, pertencente ao Departamento de Engenharia de Estruturas – SET, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo – EESC/USP, pela concessão de uso de toda a infraestrutura para a realização desta pesquisa. Também, a toda equipe técnica, funcionários e amigos, pelo apoio, pela contribuição em trabalhos anteriores e por tornar possível a realização dessa pesquisa.

Agradecimentos aos Professores das disciplinas realizadas no Departamento de Ciências e Engenharia de Materiais e no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da EESC, por dividirem seus conhecimentos para eu que pudesse aprofundar os meus.

Aos meus amigos, um eterno agradecimento, pelo companheirismo, conversas, pelos desabafos, pelas palavras de apoio. E por fim, agradeço a todos que de alguma forma também contribuíram para a realização deste trabalho.

“ENTREGO,
CONFIO,
ACEITO e
AGRADEÇO.”

(Antigo Mantra)

RESUMO

POLETO, S. F. S.. Telhas fabricadas com resíduos de madeira de reflorestamento de *Pinus* sp. tratadas com CCB, para o emprego na construção civil – caracterização física e propriedades térmicas. 141 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

Com a preocupação de reaproveitamento de fontes geradoras e fornecedoras de madeira, a pesquisa busca dar continuidade à proposta de mestrado, que consistiu na construção de um Protótipo de Revestimentos com Painéis de Partículas Homogêneas de Madeira (PPHM), em escala real, para análise de novos subprodutos de resíduos de madeira de reflorestamento. Considerando a viabilidade técnica do painel aplicado como revestimento, buscou-se analisar o comportamento e eficiência do painel como Telha. Ressalta-se, que no processo de fabricação da telha foi utilizado, como adesivo, a resina poliuretana à base de óleo mamona. Foram realizados ensaios físico-mecânicos e analisado o desempenho térmico da telha, inclusive a sua Absortância. Também foram feitos ensaios qualitativos após intemperismo das Telhas. A produção ocorreu em escala de laboratório – LaMEM (SET/EESC/USP). Os resultados obtidos confirmaram a viabilidade do emprego das telhas de PPHM no mercado de coberturas e no segmento da construção civil.

Palavras-Chave: Resíduos de Madeira. Painéis de Partículas de madeira. Telhas. Propriedades térmicas. Absortância. Tecnologia de inovação. Habitação.

ABSTRACT

POLETO, S. F. S.. **Roof tiles made from reforestation wood waste from *Pinus* sp. treated with CCB, for employment in construction – physical characterization and thermal properties.** 141 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

Concerning the reusing sources that generate wood and wood suppliers, the research seeks to continue the master's degree proposal, which consisted in the construction of a Prototype of Coatings with Homogeneous wood particleboard (PPHM), on a real scale, for the analysis of new by-products of reforestation wood waste. Considering the technical feasibility of the panel applied as a coating, we sought to analyze the behavior and efficiency of the panel as a tile. It is noteworthy that, in the tile manufacturing process, the castor oil-based polyurethane resin was used as an adhesive. Physical–mechanical tests were performed, analyzing the thermal performance of the tile, including the absorbance. Qualitative tests were also made after the weathering of tiles. The production take place at laboratory LaMEM (SET/EESC/USP). The results obtained confirmed the viability of the use of PPHM tiles in roofing market and in civil construction segment.

Key words: Waste wood. Particleboard. Roof tiles. Thermal properties. Absorbance. Technological innovation. Habitation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Carta Solar da Cidade de São Carlos, SP.....	35
FIGURA 2 – Etapas de procedimento de avaliação de desempenho térmico segundo NBR 15575.	38
FIGURA 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro.....	41
FIGURA 4 – Classificação Bioclimática da Cidade de São Paulo, SP, de acordo com a ABNT NBR 15220–3.....	42
FIGURA 5 – Classificação Bioclimática da Cidade de São Carlos, SP, de acordo com a ABNT NBR 15220–3.....	43
FIGURA 6 – Espectro solar total e suas respectivas radiações; e intervalo referente a radiação de luz (visível), de 380 nm a 760 nm.	46
FIGURA 7 – Espectro eletromagnético e intervalo visível (380 nm a 760 nm).	51
FIGURA 8 – Fotos dos equipamentos: da esquerda para a direita tem-se o Moinho picador, a Balança digital, a Batedeira planetária (encoladeira) e a Prensa Hidráulica.....	54
FIGURA 9 – Alguns dos Painéis produzidos para ensaio físico-mecânico.....	55
FIGURA 10 – (a) Estrutura para fixação dos corpos-de-prova; (b) corpos-de-prova sendo fixados.	56
FIGURA 11 – Localização dos corpos-de-prova dentro do Campus de São Carlos.	57
FIGURA 12 – Azimute e Altura solar.....	58
FIGURA 13 – Trajetória solar ao longo do ano e informações que podem ser lidas na Carta solar.	58
FIGURA 14 – Exemplo de Indicação da altura do sol e seu azimute em relação ao norte para as 6h40 do dia 22 de junho, na a Carta Solar da cidade de São Carlos.	59
FIGURA 15 – Da esquerda para a direita: Painel de PPH sem revestimento; Painel de PPH revestido com Osmocolor; e Painel de PPH revestido com Mamona.	62
FIGURA 16 – Telha tipo Romana.	62
FIGURA 17 – (a) Corpos-de-prova de telha cerâmica sendo cortados com Maquita; (b) corpos-de-provas sendo lixados; e (c) total de 28 corpos-de-provas.....	63
FIGURA 18 – Máquina de ensaio Varian Cary – Espectrofotômetro.	64
FIGURA 19 – Máquina Varian Cary 5G utilizada para o ensaio de Reflectância.....	66
FIGURA 20 – (a) Posição do corpo-de-prova na fenda; (b) Reflexão especular e difusa; e (c) percursos do feixe de radiação dentro do equipamento Espectrofotômetro.....	67
FIGURA 21 – Esquema do Espectrofotômetro com esfera de integração difusa.	68
FIGURA 22 – (a) Furadeira de bancada Helmaq; (b) Serra de copo de aço com 5 cm de diâmetro; e (c) PPHM sem revestimento, PPHM revestido com Osmocolor e PPHM revestido com PU Mamona.	69

FIGURA 23 – (a) Maquita com disco dentado para corte de cerâmica; (b) Lixadeira e corpos-de-prova marcados por compasso (5 cm de diâmetro); (c) corpos-de-prova sendo lixados; (d) corpos-de-prova já lixados; e (e) 20 corpos-de-prova.	70
FIGURA 24 – Thermal Conductivity Tester DTC – 300; e passagem do fluxo de calor descendente pelo corpo-de-prova.	72
FIGURA 25 – Equipamento Romatex digital, utilizado para medir a rugosidade das telhas de PPHM e da telha cerâmica.	78
FIGURA 26 – Equipamento colorímetro Konica Minolta CR – 410.	79
FIGURA 27 – (a) Telhas cerâmicas romanas; (b) telhas sendo ensaiadas; e (c) visor do Colorímetro.	80
FIGURA 28 – Espaço de cor CIE L* a* b*.	81
FIGURA 29 – Perfil e Superfície do corpo-de-prova de PPHM M1 utilizado para o ensaio de Reflectância telha revestido com resina de Mamona.	101
FIGURA 30 – Perfil do corpo-de-prova de PPHM M2 utilizado para o ensaio de Reflectância telha revestido com resina de Mamona.	102
FIGURA 31 – Perfil e Superfície do corpo-de-prova de PPHM M3 utilizado para o ensaio de Reflectância telha revestido com resina de Mamona.	102
FIGURA 32 – Perfil e Superfície do corpo-de-prova de PPHM M4 utilizado para o ensaio de Reflectância telha revestido com resina de Mamona.	103
FIGURA 33 – Perfil e Superfície do corpo-de-prova de PPHM M5 utilizado para o ensaio de Reflectância telha revestido com resina de Mamona.	103
FIGURA 34 – Ampliação da superfície do corpo-de-prova M2, da telha de PPHM revestida com Mamona e detalhe	104
FIGURA 35 – Inter-reflexões ocorridas numa superfície com picos e vales.	105

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Limite de absorção de água (AA) para telhas cerâmicas de acordo com o clima.	33
TABELA 2 – Propriedades térmicas da cerâmica e da madeira segundo NBR 15220-3.....	36
TABELA 3 – Transmitância, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas segundo NBR 15220-3.	36
TABELA 4 – Propriedades térmicas de vedações verticais segundo NBR 15575. ..	40
TABELA 5 – Valores de propriedades térmicas de coberturas segundo NBR 15575.	40
TABELA 6 – Zona bioclimática de algumas cidades, entre elas São Carlos, e as estratégias bioclimáticas recomendadas pela norma para diretrizes construtivas.	42
TABELA 7 – Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e o calor específico (c) de materiais.....	45
TABELA 8 – Ângulos da Altura solar para 4 as trajetórias principais do Sol, durante o ano, em relação aos horários do dia.....	60
TABELA 9 – Especificações dos corpos-de-prova para o Ensaio de Condutividade térmica.....	71
TABELA 10 – Resistência térmica superficial interna e externa.....	73
TABELA 11 – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas com largura muito maior que a espessura.	74
TABELA 12 – Avaliação para classificação visual das telhas de PPHM.	81
TABELA 13 – Valores de Inchamento (I) e Absorção de água (AA) de PPHM de <i>Pinus</i> sp. CCB.	84
TABELA 14 – PPHM com resíduos de <i>Pinus</i> sp. tratados com CCB fabricados com resina poliuretana à base de óleo de Mamona – MOR e MOE.	85
TABELA 15 – Resultados do ensaio de Tração perpendicular às faces.	86
TABELA 16 – Resultados do ensaio de Arrancamento de parafusos face – PPHM de <i>Pinus</i> sp. CCB.	87
TABELA 17 – Resultados de Arrancamento de parafusos topo – PPHM de <i>Pinus</i> sp. CCB.	88
TABELA 18 – Absortância por intervalo do espectro solar, medida no Espectrofotômetro.	100
TABELA 19 – Valores de Absortância (α) de superfícies para radiação solar a temperaturas comuns.	106
TABELA 20 – Comparação entre os valores médios de (α) Absortância no intervalo do Espectro visível (381 a 760 nm).	107

TABELA 21 – Classes de Rugosidade.	109
TABELA 22 – Valores da rugosidade em função dos tratamentos.	109
TABELA 23 – Rugosidade das telhas cerâmicas ensaiadas.	110
TABELA 24 – Resultados das leituras de cor nas 3 telhas cerâmicas.....	112
TABELA 25 – Resultados da Condutividade das telhas de PPHM de <i>Pinus</i> sp. tratados com CCB e da Telha cerâmica.....	113
TABELA 26 – Resultado do Atraso térmico simulado para as telhas de PPHM de <i>Pinus</i> sp. tratadas com CCB e da Telha cerâmica.	116
TABELA 27 – Valores da Resistência superficial externa e interna do ar, considerando fluxo descendente.	116
TABELA 28 – Simulação de propriedades térmicas da telha de resíduos de madeira, com base em dados obtidos de normas e empresas.....	117
TABELA 29 – Resultados da simulação das propriedades térmicas da telha combinada com outros elementos isolantes.	118
TABELA 30 – PPH com resíduos de <i>Eucalyptus</i> sp. CCA fabricados com Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona.....	132
TABELA 31 – PPH com resíduos <i>Eucalyptus</i> sp. CCB fabricados com Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona.....	132
TABELA 32 – PPH com resíduos de <i>Pinus</i> sp. CCA fabricados com Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona.....	133
TABELA 33 – PPH com resíduos de <i>Pinus</i> sp. CCB fabricados com Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona.....	133
TABELA 34 – Resultados de ensaios de tração perpendicular às faces.	134
TABELA 35 – Resultados de ensaios de tração perpendicular às faces.	134
TABELA 36 – Resultados de ensaios de tração perpendicular às faces.	135
TABELA 37 – Resultados de ensaios de tração perpendicular às faces.	135
TABELA 38 – Ensaio de Arrancamento de parafusos face – <i>Pinus</i> sp. CCA.	136
TABELA 39 – Ensaio de Arrancamento de parafusos face – <i>Pinus</i> sp. CCB.	136
TABELA 40 – Ensaio de Arrancamento de parafusos face – <i>Eucalyptus</i> sp. CCA.	137
TABELA 41 – Ensaios de Arrancamento de parafusos face – <i>Eucalyptus</i> sp. CCB.	137
TABELA 42 – Ensaios de Arrancamento de parafusos topo – <i>Pinus</i> sp. CCA.....	138
TABELA 43 – Ensaios de Arrancamento de parafusos topo – <i>Pinus</i> sp. CCB.....	138
TABELA 44 – Ensaios de Arrancamento de parafusos topo – <i>Eucalyptus</i> sp. CCA.	139
TABELA 45 – Ensaios de Arrancamento de parafusos topo – <i>Eucalyptus</i> sp. CCB.	139
TABELA 46 – Ensaios de Inchamento e absorção de PPH de <i>Pinus</i> sp. CCA.....	140

TABELA 47 – Ensaio de Inchamento e absorção de PPH de <i>Pinus</i> sp. CCB.	140
TABELA 48 – Ensaio de Inchamento e absorção de PPH de <i>Eucalyptus</i> sp. CCA.	141
TABELA 49 – Ensaio de Inchamento e absorção de PPH de <i>Eucalyptus</i> sp. CCB.	141

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – ASTM G173-03 Reference Spectra.	49
GRÁFICO 2 – Amostra de calibragem na cor preta (2% de Refletância).	65
GRÁFICO 3 – Valores de Refletância do corpo-de-prova <i>In Natura</i> I1, por comprimento de onda [nm].	90
GRÁFICO 4 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova I1, telha PPHM <i>In Natura</i> , por comprimento de onda [nm].	91
GRÁFICO 5 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova I2, telha PPHM <i>In Natura</i> , por comprimento de onda [nm].	91
GRÁFICO 6 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova I3, telha PPHM <i>In Natura</i> , por comprimento de onda [nm].	91
GRÁFICO 7 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova I4, telha PPHM <i>In Natura</i> por comprimento de onda [nm].	92
GRÁFICO 8 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova I5, telha PPHM <i>In Natura</i> , por comprimento de onda [nm].	92
GRÁFICO 9 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova O1, revestido com Osmocolor, por comprimento de onda [nm].	93
GRÁFICO 10 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova O2, revestido com Osmocolor, por comprimento de onda [nm].	93
GRÁFICO 11 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova O3, revestido com Osmocolor, por comprimento de onda [nm].	93
GRÁFICO 12 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova O4, revestido com Osmocolor, por comprimento de onda [nm].	94
GRÁFICO 13 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova O5, revestido com Osmocolor, por comprimento de onda [nm].	94
GRÁFICO 14 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova M1, revestido com Mamona, por comprimento de onda [nm].	95
GRÁFICO 15 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova M2, revestido com Mamona, por comprimento de onda [nm].	95
GRÁFICO 16 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova M3, revestido com Mamona, por comprimento de onda [nm].	95
GRÁFICO 17 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova M4, revestido com Mamona, por comprimento de onda [nm].	96
GRÁFICO 18 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova M5, revestido com Mamona, por comprimento de onda [nm].	96
GRÁFICO 19 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova T1, Telha cerâmica, por comprimento de onda [nm].	97
GRÁFICO 20 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova T2, Telha cerâmica, por	

comprimento de onda [nm].	97
GRÁFICO 21 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova T3, Telha cerâmica, por comprimento de onda [nm].	97
GRÁFICO 22 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova T4, Telha cerâmica, por comprimento de onda [nm].	98
GRÁFICO 23 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova T5, Telha cerâmica, por comprimento de onda [nm].	98
GRÁFICO 24 – Curvas de Refletância [%] para todos os 20 corpos-de-prova de telhas, de cima para baixo: Telha cerâmica (T), <i>In Natura</i> (I); revestidos com com Osmocolor (O); revestidos Mamona (M); e por comprimento de onda [nm].	99

LISTA DE SIGLAS

AA	Absorção de Água
ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente
ABIPA	Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
ABNT	Associação Brasileira de normas técnicas
ABRAF	Associação Brasileira de Florestas Plantadas
ANSI	American National Standard Institute
AP	Arrancamento de Parafuso
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ArqTeMa	Arquitetura, Tecnologia e Materiais
ASTM	American Society for Testing Materials
ANSI	American National Standard
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CCA	Arseniato de Cobre Cromatado
CCB	Borato de Cobre Cromatado (óxido)
CMMAD	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CPH	Chapas de Partículas Homogêneas
CS	Commercial Standard
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
IV	Infravermelho
Inpa	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IBÁ	Indústria brasileira de árvores

LaMEM	Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira
MDF	Medium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Ruptura
NBR	Norma Brasileira
OSB	Oriented Strand Board
PB	Particleboard
PPH	Painel de Partículas Homogêneas
PPHM	Painel de Partículas Homogêneas de Madeira
PVC	Cloreto de Polivinila
PU	Poliuretana
REMADE	Revista da Madeira
RTP	Resistência a Tração Perpendicular (Adesão Interna)
SET	Departamento de Engenharia de Estruturas
SMM	Departamento de Engenharia de Materiais
Sisnama	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
Suasa	Sistema Unificado à Atenção à Sanidade Agropecuária
TP	Tração Perpendicular (Adesão interna)
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
USP	Universidade de São Paulo
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
2	OBJETIVOS	29
2.1.	OBJETIVO GERAL	29
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
3.1.	PPHM – PAINEL DE PARTÍCULAS HOMOGÊNEAS DE MADEIRA E MDP – PAINEL DE MÉDIA DENSIDADE.....	31
3.2.	TELHAS DE MADEIRA: TAUBILHAS ECOLÓGICAS E TELHAS DE MADEIRA TRATADAS	32
3.3.	TELHA DE PAINÉIS DE RESÍDUOS DE MADEIRA E TELHA CERÂMICA.....	32
3.4.	QUANTIDADE DE HORAS DE INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO SOLAR SOBRE EDIFICAÇÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS, DURANTE O ANO	34
3.5.	PROPRIEDADES TÉRMICAS DA CERÂMICA E DA MADEIRA SEGUNDO NBR 15220-3	36
3.6.	NBR 15575: EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO E O MÉTODO SIMPLIFICADO.....	37
3.7.	DEFINIÇÕES DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS CALCULADAS	43
3.8.	ABSORTÂNCIA OU FRAÇÃO ABSORVIDA DA RADIAÇÃO INCIDENTE	45
3.9.	REFLECTÂNCIA AJUSTADA PARA O ESPECTRO SOLAR PADRÃO	48
3.10.	RUGOSIMETRIA	50
3.11.	COLORIMETRIA.....	50
3.12.	CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	51
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
4.1.	ETAPA PRELIMINAR DO TRABALHO	53
4.1.1.	<i>Composição dos painéis das telhas para o Intemperismo e ensaios físico-mecânicos</i>	<i>53</i>
4.1.2.	<i>Localização e posicionamento dos corpos-de-prova de intemperismo</i>	<i>56</i>
4.1.3.	<i>Ensaio físicos e mecânicos.....</i>	<i>60</i>
4.2.	SEGUNDA ETAPA DO TRABALHO	61
4.2.1.	<i>Ensaio de Reflectância Difusa</i>	<i>62</i>
4.2.2.	<i>Ensaio de Condutividade Térmica</i>	<i>68</i>

4.2.3.	<i>Equações utilizadas para os cálculos das propriedades térmicas.....</i>	72
4.2.4.	<i>Ensaio de Rugosimetria</i>	77
4.2.5.	<i>Ensaio de Colorimetria</i>	79
4.2.6.	<i>Ensaio de Análise qualitativa do Intemperismo natural</i>	81
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
5.1.	RESULTADOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DAS TELHAS DE PPHM	83
5.1.1.	<i>Resultados dos ensaios físicos de inchamento e absorção</i>	83
5.1.2.	<i>Resultados dos ensaios de Flexão – estática: MOR e MOE.....</i>	84
5.1.3.	<i>Resultados dos ensaios de Tração perpendicular às faces.....</i>	85
5.1.4.	<i>Resultados dos ensaios de Arrancamento de parafusos de face.....</i>	87
5.1.5.	<i>Resultados dos ensaios de Arrancamento de parafusos topo</i>	88
5.2.	RESULTADOS DOS ENSAIOS DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS PAINÉIS DE TELHAS	89
5.2.1.	<i>Resultados de Reflectância e conversão para as curvas com valores de Absortância.....</i>	89
5.2.2.	<i>Discussão dos resultados de Reflectância difusa e Absortância.....</i>	99
5.2.3.	<i>Resultados das Análises qualitativas após Intemperismo Natural.....</i>	108
5.2.4.	<i>Resultados dos ensaios de Rugosimetria</i>	108
5.2.5.	<i>Resultados dos ensaios de Colorimetria</i>	111
5.2.6.	<i>Resultados da Condutividade térmica</i>	112
5.3.	SIMULAÇÃO.....	115
5.4.	COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS REAIS E SIMULADOS DO ATRASO TÉRMICO	119
6	CONCLUSÕES.....	122
6.1.	SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS	123
	REFERÊNCIAS	124
	ANEXO I – Ensaio de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (mor).....	132
	ANEXO II – Ensaio de tração perpendicular às faces.....	134
	ANEXO III – Ensaio de arrancamento de parafusos face	136
	ANEXO IV – Ensaio de arrancamento de parafusos topo	138
	ANEXO V – Ensaio físicos de inchamento e absorção.....	140

1 INTRODUÇÃO

É grande o volume de resíduos de madeira descartado durante todo o seu processamento, desde o corte da árvore, desbaste de galhos, desdobro da tora até seu acabamento, em que finalmente é encaminhada como produto para o mercado da construção civil.

Durante o processo de corte, resultado da intensa e desequilibrada exploração florestal, estipula-se que cerca de 20% da massa de uma árvore seja deixada no local. Estudos mostram que o rendimento médio de madeira serrada de *Pinus* sp. é de aproximadamente 49 % para o desdobro convencional ou aleatório (MURARA JR., M. I.; ROCHA, M. P.; e TRUGILHO, P. F., 2013).

Os plantios de espécies de *Pinus* estão concentrados principalmente no Paraná e em Santa Catarina e representam 42 % e 34 %, respectivamente, do total de 1,6 milhão de hectares (IBÁ, 2017).

De acordo com Biomassa Energia BR (2016) são gerados cerca de 30 milhões de toneladas de resíduos no Brasil anualmente, e 91 % deste montante é gerado por atividades de manejo da própria indústria madeireira.

De acordo com artigo da Revista da Madeira¹ (2007), 800 mil metros cúbicos de madeira tratada são produzidos por ano no país, sendo que praticamente todo esse montante é proveniente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

Torna-se um desafio encontrar soluções para diminuir ou até mesmo eliminar o descarte desses resíduos, que causam contaminações no meio ambiente. Essa situação é agravada tratando-se de resíduos de madeira tratados com CCA (arsoanato de cobre cromatado) e CCB (borato de cobre cromatado), produtos químicos bastante utilizados em usinas de dormentes e postes, por estarem suscetíveis a ataques de microrganismos.

Trabalhos que tratam de assuntos análogos, como o de Nascimento (2016) que analisou, por meio de ensaios físico-mecânicos e qualitativos, Telhas de Painéis de Partículas Homogêneas de média densidade; e de Poletto (2014), que por meio da construção de um Protótipo Arquitetônico, na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), no Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira (LaMEM), reaproveitou

¹ EQUIPE JORNALÍSTICA DA REVISTA MADEIRA. *Tecnologia amplia possibilidades de usos*. REMADE. Edição 109, 2007. 6p. Artigo técnico.

resíduos de madeira tratadas para a fabricação de Painéis de Partículas Homogêneas, PPH, para revestimento de pisos e paredes; atingiram resultados bastante satisfatórios.

Portanto, considerando os dados levantados, o intuito de evitar o consumo desnecessário de recursos florestais e de matéria-prima, e a viabilidade de se trabalhar com o painel de resíduos de madeira, este trabalho consistiu em se basear nos melhores resultados físico-mecânicos obtidos em parceria com Nascimento (2016), para cálculos e ensaios das propriedades térmicas, como os de Absortância e de Condutividade térmica da telha; e de suas propriedades qualitativas, assim como, seu comportamento mediante a exposição às intempéries, a fim de obter os aperfeiçoamentos necessários para atingir os requisitos mínimos para serem empregados na construção civil como componentes de cobertura. Para tanto, foi preciso considerar sustentabilidade, eficiência energética da edificação, assim como, o bem-estar de seus habitantes.

Ressalta-se que no desenvolvimento do setor florestal, é de grande importância que se faça investimentos em novas tecnologias para a otimização da utilização e reaproveitamento da madeira. Uma solução possível é produção de painéis com resíduos de madeira, a qual este trabalho abordou.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi buscar alternativas para diminuir o descarte de resíduos de madeira por meio do seu reaproveitamento na produção de Telhas com Painéis de Partículas Homogêneas, PPH, de *Pinus* sp., tratados com CCB e encolados com resina poliuretana à base de óleo de mamona. Foram avaliados o desempenho físico-mecânico, as propriedades térmicas e qualitativas do novo material para sua aplicação no segmento da construção civil. Os resultados obtidos foram comparados com os da telha cerâmica do tipo Romana.

2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Reaproveitar madeira de reflorestamento e seus resíduos para a fabricação de subprodutos sustentáveis, assim como, utilizar como adesivo um produto parcialmente renovável oriundo de recursos naturais (resina poliuretana à base de óleo de mamona);
- Produzir telhas, em escala laboratorial, utilizando resíduos de madeira de Reflorestamento, tratados com Arseanato de Cobre Cromatado (CCA) e Borato de Cobre Cromatado (CCB);
- Encapsular os preservantes CCA e CCB, por meio do uso da resina poliuretana à base de óleo de mamona, na produção do painel de telha de resíduos de madeira, para diminuir o seu descarte e evitar a contaminação do meio ambiente;
- Etapa Preliminar do Trabalho: realizar ensaios físicos-mecânicos dos painéis de telhas para escolher qual tratamento obteve os melhores resultados;
- Segunda Etapa do Trabalho: trabalhar com o melhor tratamento, a partir de análises de resultados e dados de ensaios de desempenho físico-mecânico das telhas

produzidas, em parceria com a pesquisadora Nascimento (2016), para realizar aprofundamentos nos ensaios;

- Obter as propriedades térmicas do componente;

- Avaliar a Absortância da telha fabricada e da telha cerâmica por meio de ensaios realizados de acordo com os procedimentos encontrados na NBR (ASTM, 2005b), ASHARE (2001) e Dornelles (2008), para fins de comparação dos resultados;

- Analisar a Condutividade térmica das telhas produzidas e da telha cerâmica, a fim de calcular a sua Transmitância térmica e atrasos térmicos;

- Por meio da Absortância e da Transmitância calculadas, indicar as zonas bioclimáticas brasileiras, em que a telha melhor se insere;

- Comparar os resultados das propriedades térmicas da telha produzida com os da telha cerâmica comercializada;

- Avaliar qualitativa as telhas produzidas, mediante sua exposição às intempéries, visualmente e por meio de ensaios de Rugosidade e Colorimetria; e

- Obter Telhas com Painéis de Partículas Homogêneas de Madeira, PPHM, sustentáveis e eficientes energeticamente, por meio de estudos de materiais, com qualidade para inserção no mercado atual de cobertura dentre os outros segmentos da construção civil; assim como, aperfeiçoar o conhecimento que envolve a produção e utilização de telhas de madeira a fim de colaborar com o setor produtivo madeireiro.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Mediante o que foi apresentado na parte introdutória do trabalho, a revisão bibliográfica apresenta a descrição do material desenvolvido para aplicação como telha, considerando os materiais disponíveis no mercado e suas principais características. Também são apresentadas a NBR 15220-3 (ABNT, 2003), *Desempenho térmico de edificações* e a NBR 15575 (ABNT, 2013), *Edificações habitacionais – Desempenho*, que descreve o método simplificado com requisitos mínimos, intermediários e superiores para propriedades térmicas de cobertura. Além de conceitos das propriedades térmicas e qualitativas que foram analisadas para o novo componente telha.

3.1. PPHM – Painel de Partículas Homogêneas de Madeira e MDP – Painel de Média Densidade

A definição de Painel de Partícula Homogênea (PPH) depende do tipo de partícula, de seu tamanho, assim como, do tipo de resina utilizada, equipamentos e metodologia empregada no seu processamento e produção.

São chamadas de homogêneas, pois apresentam formas e dimensões tais que, ficam retidas na peneira de ensaio de granulometria com determinado diâmetro. Neste caso, a dimensão da peneira escolhida foi a de diâmetro de 2,8 mm. A telha é formada por Painel de Partículas Homogêneas de Madeira (PPHM) e resina sintética termo fixa, sob determinada pressão e temperatura.

A telha desenvolvida é subproduto da madeira, portanto, é um PPHM e pode apresentar densidade média para ser considerado também, um Painel de média Densidade (MDP – Medium density particleboard). Painéis de média densidade são assim denominados por possuírem densidade entre $0,55 \text{ g/cm}^3$ e $0,75 \text{ g/cm}^3$, o que configura uma densidade média quando comparadas a de outras madeiras (NBR 14.810, ABNT, 2013).

Segundo fabricantes de MDP, as densidades dos painéis comerciais podem variar de acordo com o seu uso, e conseqüentemente sua espessura (12 mm a 30 mm) e de acordo com os materiais utilizados na sua fabricação. Os painéis variam de

500 kg/m³ a 700 kg/m³ (PAZETTO, 2009).

Na Etapa Preliminar deste trabalho, as telhas possuíram alta densidade, 0,80 g/cm³, já para a Segunda Etapa de ensaios as telhas apresentaram-se como MDP.

3.2. Telhas de Madeira: taubilhas ecológicas e telhas de madeira tratadas

De acordo com especificações da empresa SBS – Arquitetura Sustentável (2014), dois tipos de telhas de madeira são produzidos: as Taubilhas ecológicas e as Telhas de madeira tratadas.

As Taubilhas são cortadas artesanalmente e se assemelham às tábuas. Geralmente são restos de madeiras resistentes às intempéries, como da espécie Guajará (*Micropholis venulosa*), entre outras e por isso não necessitam de tratamento.

As Taubilhas também podem ser feitas com madeira de reflorestamento, como o *Pinus* sp. ou *Eucalyptus* sp., mas nesse caso recebem tratamento (KASKA, 2014).

As telhas de madeira tratadas também são produzidas com madeira de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp., e neste caso, o seu cultivo e manejo são controlados e possuem tamanhos padronizados (ART PINE, 2014).

O fato de utilizar madeira proveniente de áreas de manejo florestal para confecção de Telhas de madeiras tratadas faz com que o aproveitamento da tora seja maior por conseguir diâmetros mais proporcionais, diminuindo o desperdício de massa de madeira no momento de seu processamento. Também substitui madeiras nobres.

3.3. Telha de painéis de resíduos de Madeira e telha Cerâmica

Mediante o que foi descrito anteriormente, telhas de madeira já existem no mercado, porém são fabricadas com madeira e não com seus resíduos.

De acordo com pesquisas anteriores, mostrou-se viável o uso de resíduos, incluindo a casca de madeira de reflorestamento para fabricação de PPHM.

Poleto, et al. (2013), analisou 4 tratamentos de resíduos em forma de painel: 100% *Eucalyptus grandis* e adições nas proporções de 30%, 50% e 70% de casca de *Pinus elliottii*, em condições normais de temperatura, pressão no ambiente de

laboratório, LaMEM, em São Carlos. Os valores médios máximos para 2 horas de Inchamento em espessura (1,8%) e Absorção de água (4%) foram significativamente inferiores aos 8% (máximo) estipulado pela NBR 14.810-3:2013.

A obtenção desses valores deve-se ao fato da casca da madeira já conter resina e quando misturada a resina à base de mamona para formar o painel, aumentou a sua impermeabilização.

Fiorelli et al. (2015) avaliaram propriedades física-mecânicas de painéis de partículas fabricados com resíduos de madeira e fibra de coco que apresentaram combinações das porcentagens dos resíduos diferentes, resultando em 10 tipos de painéis. Os resultados médios de MOE e MOR foram de 1.695 MPa e 17.68 MPa. No que diz respeito ao inchamento e absorção após 2h os resultados obtidos foram de 15% e 41% respectivamente.

Com base nos resultados alcançados para Inchamento em espessura e para Absorção de Água, é perfeitamente viável pensar os painéis com resíduos de madeira para serem aplicados como telhas.

Os valores citados anteriormente são ainda mais satisfatórios se comparados aos da telha cerâmica. A seguir, a Tabela 1 apresenta os requisitos de Absorção de Água (AA) para as telhas cerâmicas de acordo com a NBR 15.310 – 2009, de acordo com o clima do local analisado:

TABELA 1 – Limite de absorção de água (AA) para telhas cerâmicas de acordo com o clima.

Climas	% AA
Temperado ou tropical	≤ 20
Frios e temperados	≤ 12
Muito frio e úmido, durante longos períodos, inclusive sujeitos a ciclos frequentes de gelo e degelo	≤ 7

Fonte: NBR 15.310 (2009)

Considerando que São Carlos está situado no clima Tropical (semiúmido), os requisitos são iguais ou menores que 20% para Absorção de Água. As telhas cerâmicas são, atualmente, as mais comercializadas e utilizadas no mercado, cuja Absorção de Água apresenta bastante variação pela falta de padronização no processo de produção, tipo de argila, secagem e queima.

Coutinho (2018) realizou um estudo sobre telhados de habitações e chegou à conclusão de que as telhas de pequenas dimensões, como as de cerâmicas e de concreto, são as mais escolhidas para telhados em que a estética, inclinações maiores e a necessidade de vários recortes, se fazem importantes. Também, por serem pesadas não apresentam grandes problemas quanto esforços devido a ação do vento, como o destelhamento.

Dentre as telhas disponíveis no mercado, as telhas cerâmicas, além de possuírem várias tipologias, também apresentam preços mais baixos (EDIFICARjr., 2018).

Estudo realizado por Schneider (2009), que pegou 9 amostras de telhas de cerâmicas de marcas diferentes para realização do ensaio de AA de imersão de 24 horas, mostrou que os resultados variaram entre 11,48% e 17,15%, sendo que uma das amostras ultrapassou os 20% máximo.

Comparando essas informações com o resultado anteriores de telhas de resíduos de madeira, reforça-se a importância de se investir em pesquisas sobre o assunto e novos subprodutos da madeira.

3.4. Quantidade de horas de incidência de radiação solar sobre edificação na cidade de São Carlos, durante o ano

Considerando que na região sudeste do Brasil, a quantidade de horas de incidência solar sobre a cobertura de um edifício é extremamente grande, portanto, a maior parte do calor transferido para o interior do mesmo é advindo do invólucro do edifício e principalmente do seu telhado.

Por meio do Software SOL – AR 6.2 (2015), criou-se a Carta Solar da cidade desejada, no caso de São Carlos (Figura 1); e foi possível fazer uma análise gráfica com relação à quantidade de incidência de radiação solar ao longo do dia e do ano.

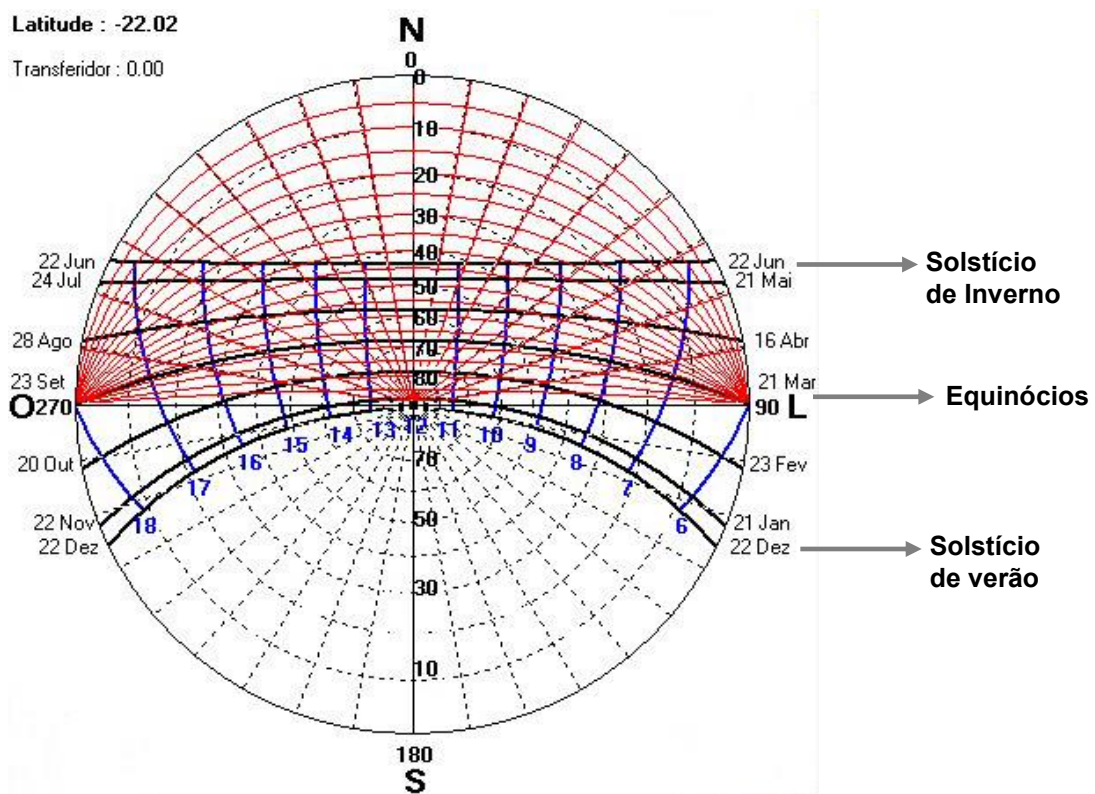


FIGURA 1 – Carta Solar da Cidade de São Carlos, SP.

Fonte: Software SOL – AR 6.2, 2016

Portanto, pela análise da Carta Solar de São Carlos, a quantidade de horas incidentes na cidade nos dias de solstícios (onde os dias e as noites apresentam durações diferentes) e nos de equinócios (em que os dias e as noites possuem a mesma duração) é:

- **No Solstício de Inverno** (correspondente à linha superior – dia 22 de junho), a incidência solar ocorre aproximadamente entre 6h40min até as 17h20min, ou seja, tem-se aproximadamente 10 horas e 40 minutos de incidência total no dia;

- **No Solstício de Verão** (correspondente à linha inferior – dia 22 de dezembro), a incidência solar é de aproximadamente 14 horas; e

- **Nos Equinócios** (correspondente à linha intermediária – dias 21 de março – Outono; e 23 de setembro – Primavera) a incidência solar é de exatamente 12 horas.

Sendo assim, deve-se ter a preocupação com os materiais utilizados na cobertura de um edifício de modo a barrar ou amenizar a entrada e absorção de calor pelos mesmos e evitar a transferência deste calor para seu interior.

3.5. Propriedades térmicas da cerâmica e da madeira segundo NBR 15220-3

A Tabela 2, baseada em valores da tabela D.2 da NBR 15220 – 3 (ABNT, 2005b), trata sobre *Desempenho térmico de edificações*; e apresenta as propriedades térmicas da cerâmica e da madeira (espécie não especificada, porém é um MDP):

TABELA 2 – Propriedades térmicas da cerâmica e da madeira segundo NBR 15220-3.

Material	ρ [kg/m ³]	λ [W/m.K]	c [KJ/(kg.K)]
Cerâmica	2000	1,05	0,92
Madeira	600	0,14	2,30

Fonte: Adaptado da Tabela D.2, NBR 15220 – 3 (2005b)

Onde:

ρ = densidade do material;

λ = condutividade térmica;

c = calor específico.



As propriedades térmicas apresentadas mostram que ao considerarmos a madeira aplicada como telha, tem-se uma economia na estrutura da cobertura, por ser a madeira muito mais leve do que a cerâmica. A madeira também conduz menos calor e seu calor específico é mais do que o dobro do da cerâmica, demorando mais para elevar sua temperatura.

Considerando que os materiais isolantes possuem valores de condutividade térmica muito baixa, ambos os materiais são considerados intermediários entre os isolantes e os condutores de calor.

A Tabela 3, apresenta propriedades da telha cerâmica (com e sem forro de madeira), com destaque para o Atraso Térmico, que é o intervalo de tempo necessário para o calor seja conduzido pelos materiais até o interior do ambiente:

TABELA 3 – Transmitância, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas segundo NBR 15220-3.

Material/Cobertura	Descrição	U [W/m ² .K]	C _T [KJ/(m ² .K)]	ϕ [horas]
--------------------	-----------	-------------------------	---	----------------

	Cobertura de telha de barro sem forro. Espessura: 1,0 cm	4,55	18	0,3
	Cobertura de telha de barro com forro de madeira. Espessura: 1,0 cm	2,00	32	1,3

Fonte: Adaptado da NBR 15220 – 3 (2005b)

De acordo com a Tabela 3, a transmitância térmica [U] de uma cobertura de telha de barro com espessura de 1,0 cm sem forro, é de 4,55 [W/(m².K)] e o atraso térmico (ϕ) é de 0,3 horas, ou seja, praticamente a telha cerâmica não apresenta resistência ao calor, que passa para o interior do edifício em poucos minutos.

Porém se compararmos à segunda situação da Tabela 3, a cobertura de telha de barro com forro de madeira, a transmitância térmica diminui consideravelmente e o atraso térmico quadruplica, devido às propriedades da madeira como forro.

Analisando o que foi exposto anteriormente ressalta-se a importância de considerar os painéis fabricados com resíduos de madeira e resina poliuretana à base de mamona para aplicação como elementos de cobertura.

Campos e Lahr (2004) acreditam nos painéis, produtos derivados da madeira, como uma alternativa interessante em meio a outros materiais que estão disponíveis para aplicação na construção civil.

3.6. NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho e o Método Simplificado

Segundo Chvatar (2014) a NBR 15575, *Edificações Habitacionais – Desempenho* (ABNT, 2013) é uma norma que trata do desempenho das edificações de modo que atenda aos requisitos mínimos, intermediários ou superiores, independente do sistema construtivo adotado e de quantos pavimentos a edificação possui.

Segundo Marques (2013) o objetivo da NBR 15575 (ABNT, 2013) não é apresentar um sistema construtivo ideal, mas que o escolhido atenda as exigências

do usuário quanto ao uso de seus subsistemas.

Chvatar (2014) pontua as necessidades dos usuários com relação:

- a segurança (estrutural, contra fogo, ao uso e operação);
- a habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico, acústico, lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade, acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico); e
- sustentabilidade (durabilidade, manutenção e impacto ambiental).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) divide-se em seis partes, as quais tratam respectivamente sobre: requisitos gerais, requisitos para os sistemas estruturais, requisitos para os sistemas de pisos, requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas, requisitos para os sistemas de coberturas e requisitos para os sistemas hidros sanitários.

A mesma norma propõe dois métodos para a avaliação de desempenho térmico das edificações: o método simplificado ou de simulação computacional. Contudo, o método de simulação é realizado somente se não forem atingidos os quesitos de parede e cobertura no método simplificado, como mostra a Figura 2.

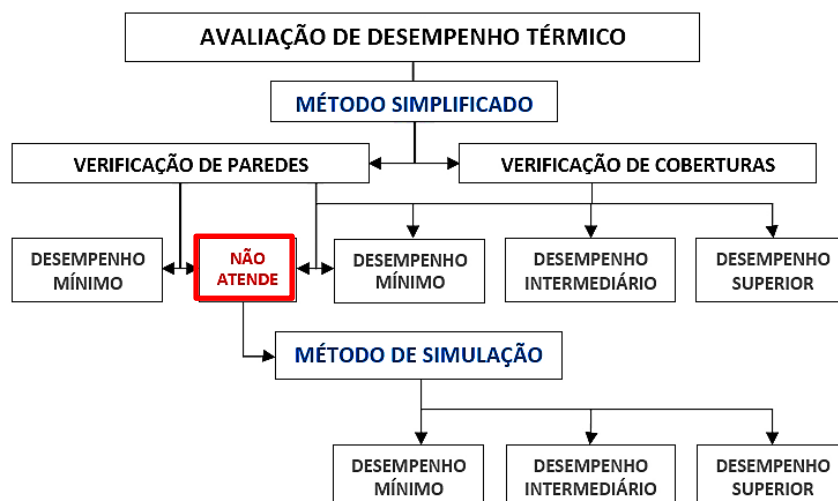


FIGURA 2 – Etapas de procedimento de avaliação de desempenho térmico segundo NBR 15575.

Fonte: Adaptado de Marques, 2013

Neste trabalho é utilizado apenas o método simplificado como avaliação do desempenho térmico do material desenvolvido para cobertura (telha).

De acordo com o método simplificado da NBR 15575 verifica-se se as fachadas (vedações verticais externas) e coberturas atendem aos requisitos de acordo com as partes 4 e 5 da norma referida. A seguir segue o esquema baseado no que prescreve Marques (2013) para o procedimento do método simplificado para as vedações verticais e para a cobertura.

Para as vedações verticais (não verificadas nesta pesquisa):

- Determina-se a transmitância térmica (U) e da Capacidade Térmica (C) da parede;
- Se atendidos os requisitos, determina-se a área de aberturas para ventilação;
- Os valores de abertura devem atender aos Códigos de Obras municipais, aos Códigos Sanitários Estaduais e por último o que recomenda a Norma;
- Se os valores forem atendidos, a parede apresenta desempenho mínimo e se os valores não forem atendidos, a parede apresenta desempenho insatisfatório.

Para as coberturas:

- Determina-se a transmitância térmica (U) da cobertura;
- A transmitância térmica (U) é analisada também em função da cor do componente;
- Se o valor encontrado for menor do que o valor limite, o desempenho da cobertura é avaliado como sendo nível I (intermediário);
- Se o valor encontrado for maior do que o valor limite da Norma, a cobertura possui desempenho insatisfatório.

Ressalta-se que para as coberturas a NBR 15575 não menciona valores para capacidade térmica. As definições das propriedades abordadas até então, estão descritas mais à frente.

A Transmitância térmica (U) também é avaliada em função da cor, ou seja, da (α) da Absortância da superfície, que está relacionada com o fato da cor preta absorver mais radiação, calor, e da cor branca absorver menos calor.

As análises das propriedades da cobertura devem levar em conta o que prescreve o item (c) dos requisitos recomendados por Chvatar (2014) a seguir:

(a) “a área de abertura efetiva das janelas dos dormitórios e salas deve atender

a um valor mínimo, que é indicado em porcentagem, em função da área de piso essa exigência somente é válida caso não haja legislação específica para o local da obra (código de obras, sanitários, ou outros);

(b) “as paredes exteriores devem atender aos valores prescritos na” Tabela 4, “para sua transmitância térmica (U) e a absorvância (α) de sua superfície exterior sua capacidade térmica (Ct) também deve ser igual ou superior a 130 kJ/m².K (exceto para a zona bioclimática 8).”; e

(c) “a cobertura deve atender aos valores prescritos na” Tabela 5, “para sua transmitância térmica (U) e a absorvância (α) de sua superfície exterior para a cobertura, são indicados distintos níveis de desempenho”.

A seguir, nas Tabelas 4 e 5, estão os valores termofísicos para vedações verticais externas e coberturas de acordo com cada zona bioclimática brasileira, respectivamente, segundo o procedimento simplificado da NBR 15575 (ABNT, 2013):

TABELA 4 – Propriedades térmicas de vedações verticais segundo NBR 15575.

DESEMPENHO TÉRMICO DE VEDAÇÕES VERTICAIS (NÍVEL MÍNIMO OBRIGATÓRIO)								
ZONAS BIOCLIMÁTICAS	1	2	3	4	5	6	7	8
Transmitância Térmica (U) (W/m ² .K)	U ≤ 2,5		U ≤ 3,7 se α ≤ 0,6 U ≤ 2,5 se α > 0,6					
Capacidade Térmica (CT) (kJ/m ² .K)	CT ≥ 130							Sem exigência

Fonte: Adaptado de Marques, 2015, da NBR 15575, 2013

TABELA 5 – Valores de propriedades térmicas de coberturas segundo NBR 15575.

DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS (NÍVEL MÍNIMO, INTERMEDIÁRIO E SUPERIOR)								
ZONAS BIOCLIMÁTICAS	1	2	3	4	5	6	7	8
Transmitância Térmica (U) (W/m ² .K)	M	U ≤ 2,5	U ≤ 2,3 se α ≤ 0,6 U ≤ 1,5 se α > 0,6				U ≤ 2,3 FT se α ≤ 0,4 U ≤ 1,5 FT se α > 0,4	
	I	U ≤ 1,5	U ≤ 1,5 se α ≤ 0,6 U ≤ 1,0 se α > 0,6				U ≤ 1,5 FT se α ≤ 0,4 U ≤ 1,0 FT se α > 0,4	
	S	U ≤ 1,0	U ≤ 1,0 se α ≤ 0,6 U ≤ 0,5 se α > 0,6				U ≤ 1,0 FT se α ≤ 0,4 U ≤ 0,5 FT se α > 0,4	

Fonte: Adaptado de Chvatar, 2015, da NBR 15575, 2013

Onde:

A norma FT – fator de correção de transmitância é definido pela NBR 15220-3. Ele é

adimensional. Caso o ático seja ventilado o FT permite um valor mais alto de U (somente para as zonas bioclimáticas 7 e 8). Para coberturas ventiladas, FT=1. Valores de transmitância térmica considerando-se o fluxo térmico descendente.

Portanto, pelos valores de Absortância (α) e Transmitância térmica (U) do componente ou material, de acordo com as tabelas de Desempenho Térmico de Coberturas da NBR 15775 apresentadas anteriormente, pode-se determinar pela NBR 15220, em quais das 8 (oito) zonas bioclimáticas (considerando o mapa de zoneamento bioclimático brasileiro da Figura 3) este novo componente apresenta melhor desempenho térmico para ser aplicado.

A Figura 3, mostra as 8 Zonas Bioclimáticas Brasileiras de acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b). Esta divisão está baseada num conjunto de condicionantes desde a localização da cidade; dimensão das aberturas para insolação e ventilação; tipos de vedações (paredes externas e de cobertura); e estratégias de condicionamento térmico (recomendações e diretrizes construtivas) destinadas às habitações unifamiliares de interesse social.

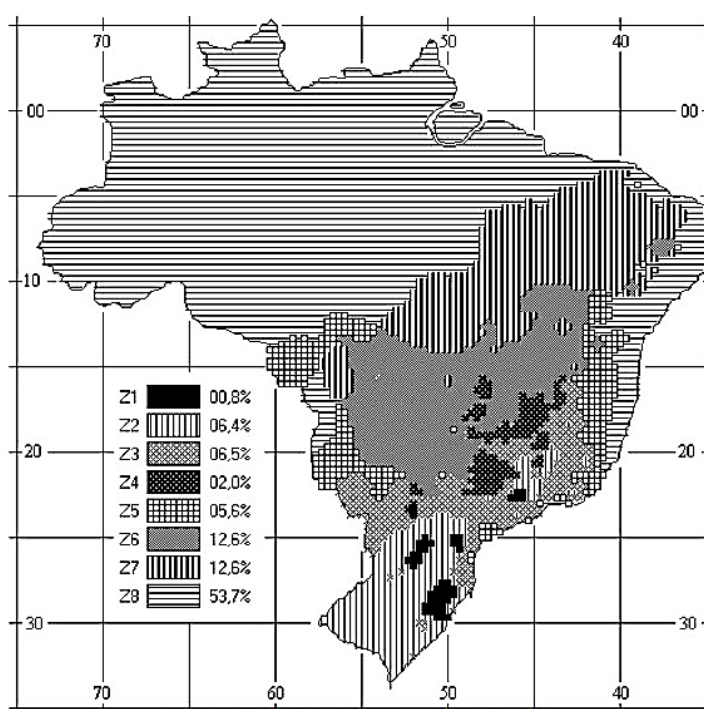


FIGURA 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro.
Fonte: Adaptado da NBR 15220-3 (2005b), 2016

A seguir, na Tabela 6, estão alguns exemplos de cidades, suas unidades federativas, e suas estratégias de construção de acordo com a NBR 15220-3 (2005b) e a Zona Bioclimática Brasileira a qual pertence.

TABELA 6 – Zona bioclimática de algumas cidades, entre elas São Carlos, e as estratégias bioclimáticas recomendadas pela norma para diretrizes construtivas.

UF	Cidade	Estrat.	Zona
SP	Ribeirão Preto	BCDFI	4
SP	Salto Grande	BCFIJ	3
SP	Santos	CFIJ	5
SP	São Carlos	BCDFI	4
SP	São Paulo	BCFI	3

Fonte: Adaptado de Tabela A.1, NBR 15220-3 (2005b), 2016

Nota-se que a cidade de São Carlos está localizada na zona Bioclimática 4, assim como a cidade de Ribeirão Preto. Já a cidade de São Paulo está localizada na Zona 3, e portanto, possui estratégias construtivas diferentes das outras cidades.

Pelo Software ZBBR 1.1 (2004), pode-se confirmar a localização exata das cidades brasileiras que se encontram distribuídas entre cada uma das 8 Zonas Bioclimáticas já mostradas anteriormente, assim como verificar as recomendações construtivas para as mesmas. Na Figura 4, pode-se ver a localização da cidade de São Paulo, SP no Mapa bioclimático brasileiro e suas recomendações. Já, a Figura 5 mostra a localização da cidade de São Carlos, no estado de São Paulo.

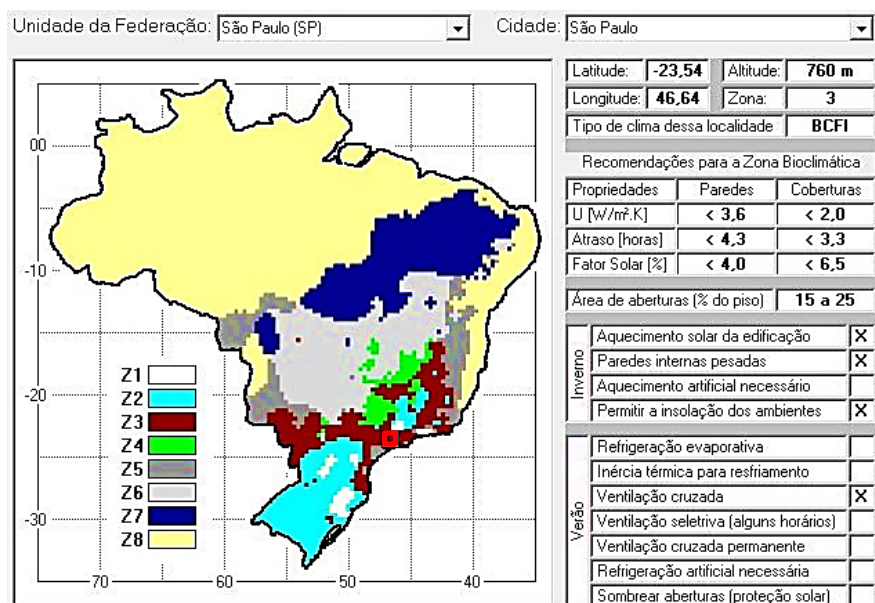


FIGURA 4 – Classificação Bioclimática da Cidade de São Paulo, SP, de acordo com a ABNT NBR 15220–3.

Fonte: Software ZBBR, 2016

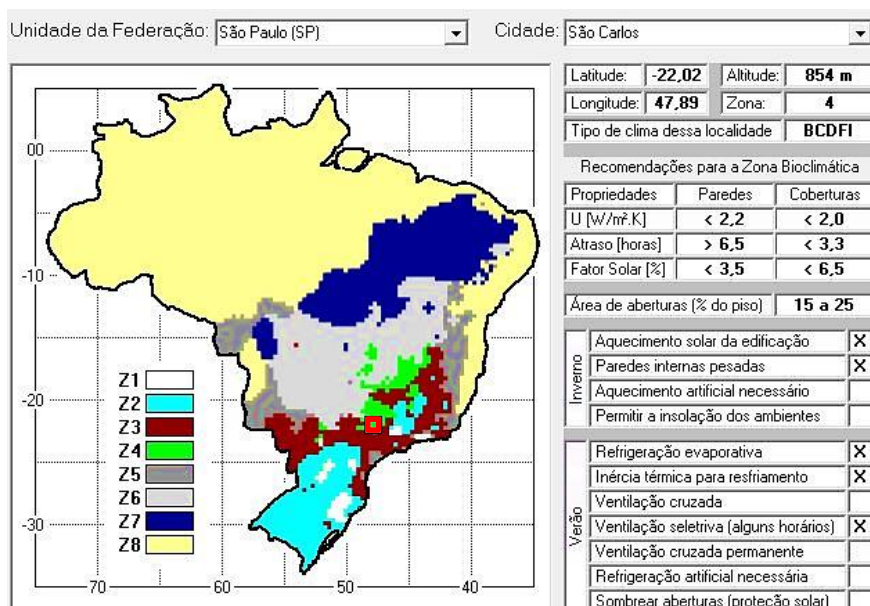


FIGURA 5 – Classificação Bioclimática da Cidade de São Carlos, SP, de acordo com a ABNT NBR 15220–3.

Fonte: Software ZBBR, 2016

Dessa forma, de acordo com a Figura 5, pode-se notar todas as estratégias (recomendações) que devem ser adotadas como diretrizes de construção para a cidade de São Carlos, algumas diferentes das de São Paulo, justamente pela diferença de localização, diferença de zonas bioclimáticas.

Portanto, para a cidade de São Carlos o ideal é que as construções apresentem paredes externas, internas e cobertura com maior massa térmica, para que o calor seja transmitido de forma mais demorada ao seu interior, fazendo com que a edificação permaneça com temperatura mais agradável durante o verão e que as temperaturas das noites de inverno sejam mais amenas (NBR 15220-3, 2005b).

Para este trabalho, as estratégias e os valores considerados foram aqueles referentes a Zona 4, onde se localiza a cidade de São Carlos, portanto, a Transmitância Térmica para coberturas tem que ser $\leq 2,3$ se a absorvância $\leq 0,6$; ou U tem que ser $\leq 1,5$ se $\alpha > 0,6$.

3.7. Definições das propriedades térmicas calculadas

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005) seguem as definições, das propriedades térmicas dos componentes de edificações citadas anteriormente e que

foram calculadas para o material produzido. As fórmulas para cálculo de cada uma encontram-se descritas no item que trata sobre a Metodologia.

(a) A Resistência térmica (R) de componentes é definida pela norma como sendo o “quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário”.

Assim, a Resistência total (R_T) é o “Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa”.

(b) Transmitância térmica ou Coeficiente global de transferência de calor (U), de acordo com Barata (2008) é a propriedade do material que permite a passagem do calor de um ambiente a outro. É o “Inverso da resistência térmica total”.

(c) Densidade de massa aparente é o “quociente da massa pelo volume aparente de um corpo”.

(d) Calor específico ou Capacidade térmica específica (c) é o “Quociente da capacidade térmica pela massa”. Sendo que capacidade térmica é a quantidade de calor necessário para variar em uma unidade a temperatura de um sistema”.

(e) Capacidade térmica de componentes (C_T) é o “Quociente da capacidade térmica de um componente pela sua área”.

(f) Atraso térmico é o “tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor”. O atraso térmico é calculado em horas. $\varphi = h$ (horas).

(g) Absortância à radiação solar (α) é o “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície”.

- (h) Condutividade térmica é a verificação, em um material isotrópico e homogêneo, de um “fluxo de calor constante, com densidade de $1\text{W}/\text{m}^2$, quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro”. É capacidade do material para conduzir, em um corpo, certa quantidade de calor (ΔQ), sob temperatura constante, por determinado intervalo de tempo (ΔT).

Na Tabela 7, estão algumas propriedades de madeiras e seus derivados de acordo com NBR 15220 (2003):

TABELA 7 – Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e o calor específico (c) de materiais.

Material	ρ (kg/m^3)	λ ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)	c ($\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno estrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
Madeiras e derivados			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	2,30
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30

Fonte: Adaptado de Tabela B.3, NBR 15220 – 3, (2005b), 2016

No caso, foram utilizados os dados de Condutividade térmica de derivados da madeira para fins de simulação de cálculo das propriedades térmicas para as telhas de PPHM, para ter base de comparação com os dados reais obtidos posteriormente, por meio dos ensaios em laboratório.

3.8. Absortância ou Fração absorvida da radiação incidente

Snell (1978) descreve sobre a definição e as leis básicas da óptica, assim como, apresenta alguns métodos de medidas físicas da mesma, como a Reflectância,

Absortância e Transmitância. Também discute a luz e suas cores como sendo um fenômeno psicofísico, já que a radiação depende da percepção e interpretação humana, por meio da estimulação da retina dos olhos.

Porém, segundo Dornelles (2008), a percepção da visão humana é restrita a apenas um intervalo de radiações, a do visível, o que justifica o fato da visão não identificar a Reflectância ou a Absortância de uma superfície em relação a todo o espectro solar (Figura 6).

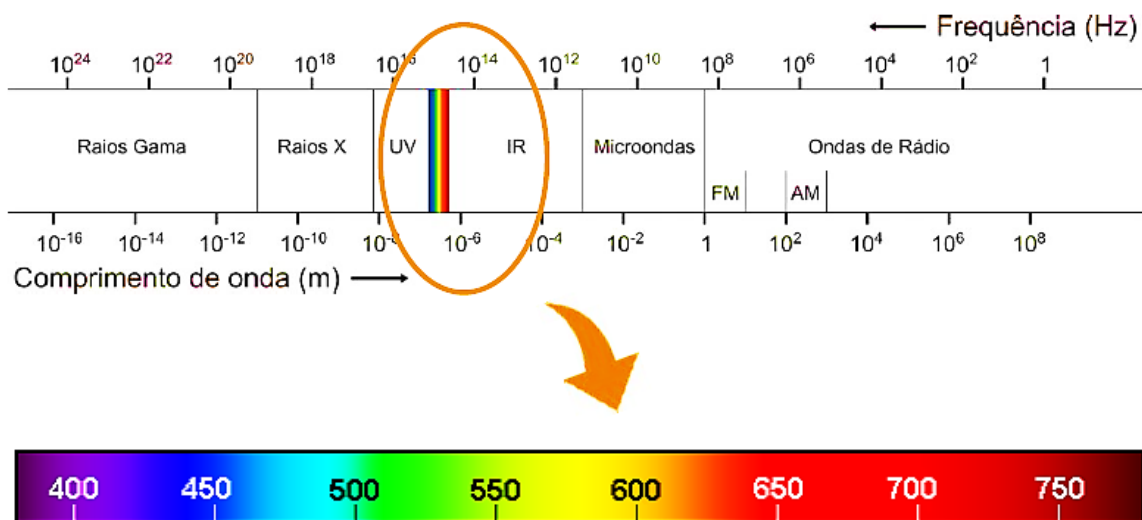


FIGURA 6 – Espectro solar total e suas respectivas radiações; e intervalo referente a radiação de luz (visível), de 380 nm a 760 nm.

Fonte: Adaptado de Pereira et al. (2015) e Dornelles (2008)

Portanto, para Dornelles (2007), a interpretação de que a Absortância do material depende exclusivamente da cor da superfície, ou seja, materiais com superfícies mais claras absorvem menos do que as escuras, está equivocada.

Como já dito anteriormente, as cores são percepções visuais provocadas somente por uma parcela do espectro solar total que chega a atmosfera terrestre, que se restringe a luz visível (intervalo de 380 nm a 760 nm), ou seja, não corresponde a quantidade de radiação total absorvida e refletida pelas superfícies.

O equipamento escolhido para realizar os ensaios de Reflectância difusa (que foram convertidos em Absortância) em laboratório, foi Espectrofotômetro (normalizado pela ASTM E 903). O equipamento permite analisar todo o espectro solar, desde os raios gama, raios x, ultravioleta, visível, infravermelho, microondas e ondas de rádio, como demonstrado anteriormente. Sua imprecisão é de $\pm 0,02$ absoluto.

Quando a radiação solar incide sobre uma superfície ela pode ser absorvida, refletida ou transmitida diretamente para o interior da edificação. Sendo assim, temos a Equação 1:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1)$$

Onde:

α = fração absorvida da radiação incidente, ou absorvância;
 ρ = fração refletida da radiação incidente, ou reflectância;
 τ = fração transmitida da radiação incidente, ou transmitância.

Para os materiais opacos, ou seja, não transparentes ou translúcidos, $\tau = 0$. Estes materiais apenas absorvem ou refletem a radiação, assim como a telha produzida para este trabalho. Portanto, a equação utilizada para fins de cálculos foi a seguinte:

$$\alpha + \rho = 1 \quad (2)$$

Onde:

α = fração absorvida da radiação incidente, ou absorvância;
 ρ = fração refletida da radiação incidente, ou reflectância;

Segundo Pereira et. al. (2015), uma desvantagem do Espectofotômetro é não possibilitar a análise das superfícies *in loco*. Para este tipo de medição existem outros equipamentos normalizados, seguem as especificações:

- ✓ Refletômetro Solar (normalizado pela ASTM C 1549): é um equipamento portátil, permitindo que faça a medição de materiais maiores *in loco*, porém realiza medições em apenas quatro comprimentos do espectro solar: 380 nm, 500 nm, 650 nm e 1220 nm. A superfície dos materiais precisa ser plana e opaca ou levemente curva, e os materiais podem ser homogêneos ou heterogêneos. A sua imprecisão é de até 3% ($\pm 0,03$) nos resultados de refletância solar obtidos.
- ✓ Piranômetro (normalizado pela ASTM E 1918) é um equipamento de grande porte utilizado para análise *in loco* de materiais com grandes superfícies.

Segundo Pereira et. al. (2015), o equipamento mede materiais com pelo menos quatro metros de diâmetro e ou de lado; e superfícies de baixa inclinação. Devem ser realizados em dias claros, ensolarados e sem nuvens. Nem sempre se tem estas condições de tempo para a realização do ensaio.

- ✓ Um método alternativo é Espectrofotômetro Alta II, que também é um medidor portátil. Ele foi desenvolvido, a princípio com propósitos didáticos sobre a luz, cor e espectroscopia para alunos, pelo *Lunar and Planetary Institute*, em Houston – Texas, Estados Unidos. Hoje ele é comercializado e possui um preço acessível. Faz medições em onze regiões de comprimentos diferentes de onda, entre 470 e 940 nm. Seu resultado se dá em voltagem. É necessário fazer as medições em locais escuros, e com menor interferência possível de luz. Sua imprecisão é maior, alcança até $\pm 10\%$ ($\pm 0,10$ absoluto).

Diante das alternativas de equipamentos existentes para a realização do ensaio de Reflectância, considerando a acessibilidade, precisão e espectro medido e condições das amostras, optou-se pelo Espectrofotômetro (normalizado pela ASTM E 903).

Como já dito anteriormente a maior parte do ganho de calor no interior de uma edificação advém de seu invólucro e principalmente de sua cobertura (no caso de habitações térreas), portanto faz-se necessário que tenha mais estudos sobre estes materiais aplicados na construção civil, para proporcionar conforto térmico e bem-estar aos seus habitantes.

3.9. Reflectância ajustada para o Espectro solar padrão

Ao atravessar a atmosfera terrestre, parte da radiação solar total (**E_{tr}**) é dispersada, refletida, absorvida por gases (Gráfico 1), antes de chegar na superfície.

De acordo com Duffie; Beckman (1991), a quantidade de radiação solar que chega a superfície é chamada de *Radiação direta* e a parte que é dispersada é a *Radiação Difusa*. Esta última depende da localização, altitude, longitude, condições climáticas, do comprimento de onda e gases que absorvem essa radiação, como vapor de água (H₂O), oxigênio (O₂), ozônio (O₃) e gás carbônico (CO₂). A *Radiação*

Global (Global Tilt) resulta da somatória da Radiação direta e difusa (dispersada, absorvida por gases na atmosfera e refletida quando incide em superfícies). Pode-se conferir no Gráfico 1.

Para definir um Espectro solar padrão, a American Society for Testing and Materials (ASTM) realizou medições, considerando o Espectro total, a Radiação direta e difusa, em 48 estados dos Estados Unidos, durante um ano, que resultou em dados médios para esses locais (ASTM, 2003).

Os valores foram analisados para os comprimentos de onda de 280 nm a 4000 nm, em superfície inclinada a 37° e voltada para o sul. O Brasil não apresenta este levantamento de dados.

Segundo Pereira, et. al. (2015) para encontrar os valores reais de Reflectância considerando as condições climáticas, geográficas, e por falta de dados para o Brasil, sugere-se utilizar os dados da ASTM G 173.

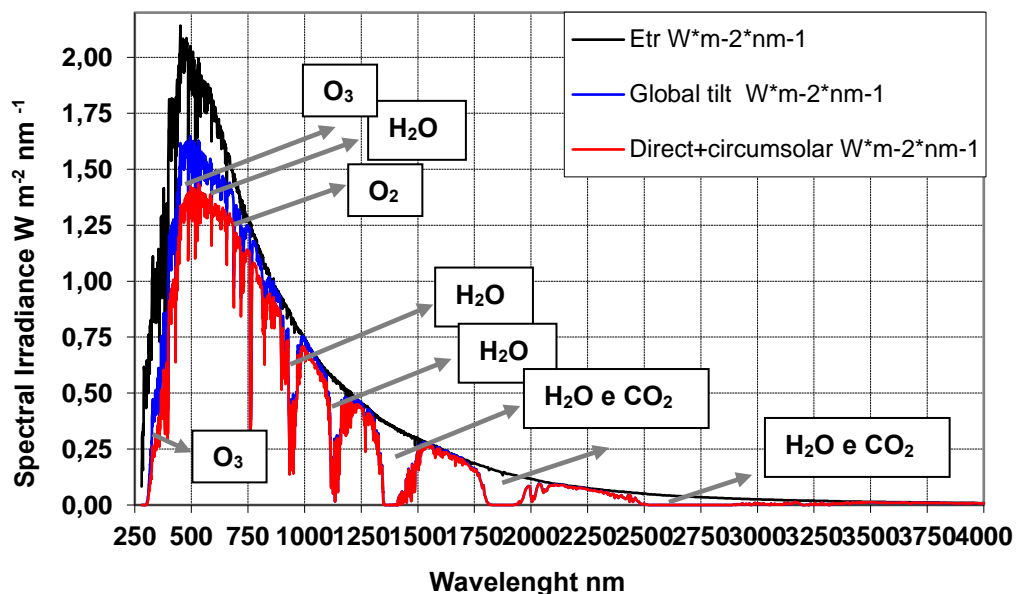


GRÁFICO 1 – ASTM G173-03 Reference Spectra.
 Fonte: Adaptado de ASTM G 173:2003, 2019

Portanto, calcular a Reflectância de um material envolve uma série de fatores externos como descritos anteriormente. Como o Brasil não apresenta este levantamento, decidiu-se não ajustar a Reflectância aos padrões sugeridos para os Estados Unidos, já que estes dados não consideram as condições climáticas, geográficas bastante diversas no Brasil.

3.10. Rugosimetria

Este ensaio foi realizado para medir as irregularidades da superfície das telhas de PPHM tratados com CCB e impregnados com Nobile Lasur (Montana Química Ltda.) e resina poliuretana à base de óleo de Mamona, segundo a metodologia e requisitos da NBR 8404 (ABNT, 1988).

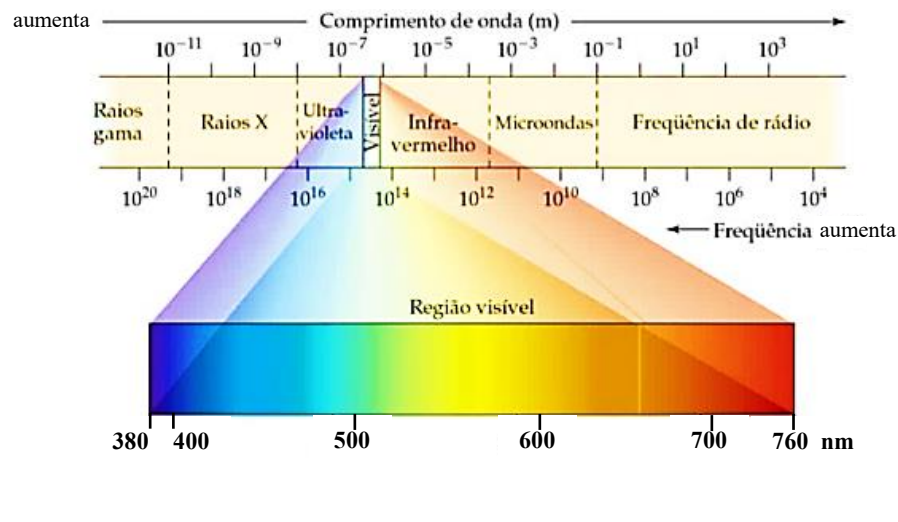
A rugosidade média é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento (y_i), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição (l_m).

Os valores de rugosidades não podem ultrapassar o maior comprimento de amostra (R_a) apresentado pela norma citada, 8 mm.

No caso da telha cerâmica tipo Romana, de acordo com NBR 15.310 (ABNT, 2009), a retilidade para telhas de sobreposição não devem ultrapassar 1% do seu comprimento efetivo e o valor de planaridade, não deve ser superior a 5 mm independentemente do tipo de telha.

3.11. Colorimetria

Colorimetria é um método para medir a variação de cor de um material a partir da incidência de radiação no corpo-de-prova para verificação da dispersão da luz branca. No espectro eletromagnético, as cores visíveis refletem a luz em intervalos de comprimento de onda diferentes. Quanto maior seu comprimento de onda, menor é a sua frequência e conseqüentemente a sua energia. As frequências de ondas visíveis correspondem ao intervalo de frequência de onda de 380 nm e 760 nm e apresentam-se nas cores: vermelho, laranja, amarelo, verde, ciano, azul e violeta (Figura 7).



$$1\text{nm} = \frac{1}{1.000.000} \text{mm}$$

FIGURA 7 – Espectro eletromagnético e intervalo visível (380 nm a 760 nm).

Fonte: Adaptado pela autora, 2018

3.12. Considerações sobre a Revisão Bibliográfica

Pela Revisão Bibliográfica concluiu-se que os estudos que tratam sobre compósitos de painéis possuem, em sua maioria, resultados positivos em relação as suas propriedades físico-mecânicas e corroboram para sua inserção nos segmentos de construção.

Porém, o que não existe são estudos sobre suas propriedades térmicas para aplicação como telhas, o que torna este trabalho original.

Sabe-se que a madeira é um material mais leve e termicamente mais isolante do que a cerâmica, ideal para utilizar em telhados. Porém, comparativamente a outras telhas, a cerâmica, ainda é a mais comercializada no Brasil, devido ao seu menor tamanho, que permite se adaptar melhor as tipologias de projetos das habitações; pela sua manutenção facilitada; e principalmente, pelo seu baixo custo.

Porém, o Brasil apresenta condições climáticas e geográficas bastante diversas. E mesmo assim, percebe-se que os sistemas construtivos, os métodos empregados, assim como, os materiais comercializados na construção civil, em sua grande maioria, são os mesmos para qualquer região do país.

As telhas cerâmicas, nos estudos levados em consideração, não atendem concomitantemente os requisitos mínimos de Transmitância (U), Absortância (α) e Absorção de água (AA), que são extremamente importantes para serem aplicadas em uma cobertura.

E estas informações praticamente não são discutidas pelos fornecedores ou apresentadas no catálogo de especificação da telha comercializada, também não são repassadas aos profissionais da área e tão pouco, ao consumidor final, que se interessa, em sua maioria, pela função e custo do material, não percebendo diferenças nos resultados finais de eficiência energética e conforto térmico de sua habitação.

A partir dos cálculos das propriedades físicas, mecânicas e térmicas da telha de PPHM, sabe-se exatamente em qual região bioclimática esta possui melhor desempenho. E conseqüentemente, quais as modificações que podem ser feitas para ampliar a sua aplicabilidade no país. Também permite fazer uma comparação de seu desempenho com o da telha cerâmica.

Como elemento inovador, este trabalho propõe um produto que possui a função e especificidades da telha cerâmica, mas que utiliza resíduos de madeira na sua fabricação (material renovável) e resina poliuretana à base de óleo de mamona (material parcialmente renovável), e ainda alia sustentabilidade; leveza (diminuindo gastos com estrutura do telhado); eficiência energética; conforto térmico; e agrega na valorização estética, por sua beleza; e conseqüentemente na valorização econômica da habitação.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item estão descritos os processos de produção das telhas feitas com Painéis de Partículas Homogêneas, PPH, fabricadas com resíduos de madeira, tratados com CCA e CCB, e resina à base de óleo de mamona e colocadas a exposição às intempéries. Também foram descritos os ensaios físicos-mecânicos realizados na Fase preliminar. Após a escolha do melhor tratamento, baseado nos melhores resultados, deu-se continuidade a Fase seguinte do trabalho. Foram realizados os ensaios qualitativos, de colorimetria, rugosimetria e, por fim, os ensaios e cálculos das propriedades térmicas a

4.1. Etapa preliminar do trabalho

4.1.1. Composição dos painéis das telhas para o Intemperismo e ensaios físico-mecânicos

Os resíduos de madeira para a confecção das telhas foram obtidos de madeira de reflorestamento de empresas da cidade e região de São Carlos, no estado de São Paulo.

O processo de fabricação dos Painéis de Partículas Homogêneas envolveu operações, como: picagem, pesagem, encolagem (resina poliuretana à base de óleo de mamona), prensagem e acabamento.

Para estas operações foram utilizados os seguintes equipamentos: Picador, Balança digital de precisão, Jogo de peneiras, Encoladeira ou Misturador, Fôrma para formar o colchão de partículas de madeira, Prensa Hidráulica com capacidade de 600 kN, Serra circular, Lixadeira e Paquímetro digital.



FIGURA 8 – Fotos dos equipamentos: da esquerda para a direita tem-se o Moinho picador, a Balança digital, a Batedeira planetária (encoladeira) e a Prensa Hidráulica.

Fonte: Arquivo próprio, 2016

Como alternativa a toxicidade dos adesivos, e baseados em resultados de trabalhos anteriores como o de Nascimento (2003), Dias (2008) e de Bertolini (2010), optou-se por utilizar a Resina poliuretana à base de óleo de mamona na produção dos painéis. Nos trabalhos citados, assim como em trabalhos análogos, foi constatado o bom desempenho desta resina, bicomponente (pré-polímero e polioliol), cura a temperatura máxima de 100°C frio, foi desenvolvida no Instituto de Química de São Carlos, da USP, representando uma tecnologia nacional.

Os painéis utilizados para as análises de **Intemperismo natural** das telhas foram fabricados em parceria com Nascimento² (2016). Portanto, o método utilizado, assim como, os equipamentos, local e condições climáticas foram os mesmos e estão descritos a seguir:

- Os resíduos foram picados no moinho picador (Figura 8) e peneirados. Em seguida as partículas retidas na peneira de malha de 2,8 mm foram pesadas e misturadas ao adesivo à base de óleo de mamona. A porcentagem de adesivo (pré-polímero e polioliol) utilizado é calculada com base no peso da quantidade de resíduos utilizados para fabricação do painel, no caso 1400 g (168g de adesivo – 12% em relação ao peso dos resíduos). E foram misturados com a resina numa encoladeira.
- Depois do resíduo pré-encolado passar pelo misturador, onde os insumos foram homogeneizados, foi formado o colchão (com a utilização de um molde de

² Maria Fátima do Nascimento, é graduada Arquiteta e Urbanista pela Universidade de Guarulhos; Mestre em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo pela USP. Dr^a. em Ciências e Engenharia de Materiais pela USP. Possui especialização em Desenvolvimento Científico e Tecnológico Regional – DCR e Pós-doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais pelo Departamento de Engenharia de Materiais e Engenharia de Estruturas. Coordenadora de 2 Projetos PIPES. Pesquisadora do LaMEM – Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras – EESC – USP.

madeira) e levado a uma prensa hidráulica para prensagem, que resultou no painel da telha. Na prensa, o painel permaneceu por 10 minutos, sob uma pressão de 3,5 MPa, a 100°C (para a resina PU de mamona).

- Após a prensagem o painel permaneceu em processo de cura no intervalo de tempo entre 48 a 72 horas. Após este período todos painéis fabricados foram esquadrejados e lixados.

Para a Fase preliminar do trabalho, em parceria com Nascimento (2016), foram produzidos em laboratório, 48 painéis de PPHM com dimensões nominais de 400 mm x 400 mm e 10 mm de espessura. Destes, 24 foram confeccionados com resíduos de *Pinus* sp. e os outros 24, com de *Eucalyptus* sp.. Metade dos resíduos utilizados estavam tratados com CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) e a outra metade com CCB (Borato de Cobre Cromatado). Nesta fase o propósito foi selecionar os melhores resultados entre os tratamentos para dar prosseguimento nos estudos.

A média das densidades dos painéis fabricados apresentaram alta densidade.



FIGURA 9 – Alguns dos Painéis produzidos para ensaio físico-mecânico.

Fonte: Arquivo próprio, 2016

Desse total, 24 telhas; sendo 6 de *Pinus* sp. tratadas com CCA e mais 6 de *Pinus* sp. tratadas com CCB 6, 6 de *Eucalyptus* sp. tratadas com CCA e mais 6 de *Eucalyptus* sp. tratadas com CCB; foram preparadas para o ensaio de intemperismo natural.

As telhas foram cortadas nas dimensões nominais de 360 mm x 180 mm x 0,10 mm para exposição natural, e expostas às intempéries (como na Figura 10b): telhas sem revestimento (*In natura*), com Nobile Lasur a base de água, da empresa Montana

Química Ltda. e com revestimento de resina poliuretana à base de óleo de mamona (PU mamona), fornecida pela Plural Química Ltda.

Ressalta-se que a escolha dos produtos ocorreu pela comparação de desempenho de um produto já existente no mercado, Nobile Lasur e bastante utilizado como impregnante de madeira, com os resultados de desempenho da resina poliuretana à base de óleo de mamona, um revestimento alternativo.

Após exposição, as telhas foram divididas em 4 grupos de modo a realizar caracterizações mecânicas: Módulo de Resistência (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE) na Flexão Estática, Arrancamento de parafusos de topo e face, e Tração perpendicular às faces (adesão interna).

Os painéis permaneceram expostos durante 6 meses e foram analisados todos os meses de exposição, para avaliação das seguintes propriedades dos painéis fabricados: inchamento em espessura; absorção de água; módulo de elasticidade na flexão estática (MOE), módulo de Ruptura (MOR) e Intemperismo Natural.

4.1.2. Localização e posicionamento dos corpos-de-prova de intemperismo

Para o Intemperismo natural as telhas foram cortadas nas dimensões nominais de 360 mm x 180 mm x 10 mm. Os ensaios foram realizados conforme os requisitos normativos da NBR14810-2 (ABNT, 2013) e segundo recomendações dos documentos normativos ASTM D-1435 (1994) e ASTM G154 (2006).

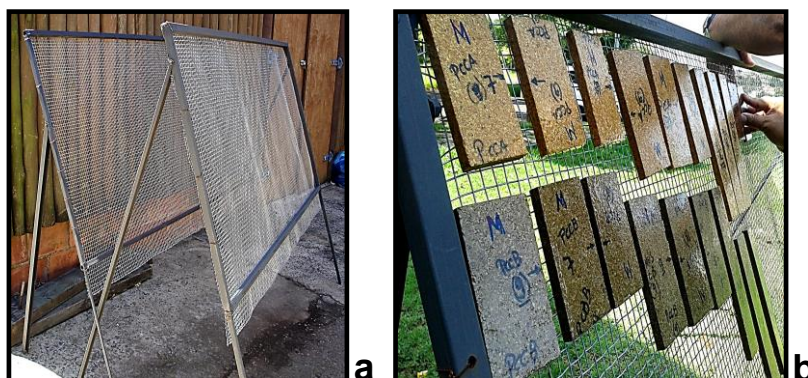


FIGURA 10 – (a) Estrutura para fixação dos corpos-de-prova; **(b)** corpos-de-prova sendo fixados.

Fonte: Arquivo próprio, 2016

Os corpos-de-prova foram expostos ao lado do SET/ LaMEM – Departamento

de Engenharia de Estruturas, Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, da Universidade de São Paulo na cidade de São Carlos, como mostra a Figura 11, a seguir.

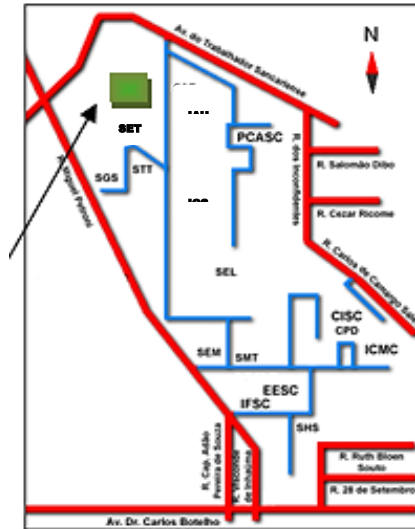


FIGURA 11 – Localização dos corpos-de-prova dentro do Campus de São Carlos.
Fonte: Mapa adaptado, 2016

Segundo Nascimento (2016), os corpos-de-prova foram dispostos na estrutura de suporte, com um ângulo de 45° de acordo com as recomendações de Battistelle, Santos e Freitas (2005).

Como o globo está inclinado $23^\circ 27'$ em relação a sua normal, a quantidade de radiação incidente nas diferentes latitudes também é diferente. A cidade de São Carlos está localizada na latitude de $22^\circ 02'$ do globo.

Os corpos-de-prova também foram expostos de modo a ficarem orientados para o norte. São Carlos está localizado no hemisfério sul e pela inclinação do Globo terrestre, a fachada voltada para o norte recebe maior radiação solar durante todo o período do ano.

Portanto, pela Carta Solar de São Carlos, já mostrada anteriormente, pode-se calcular a angulação de uma superfície, voltada para o norte, que recebe mais radiação durante todo o ano. Para ter mais precisão necessita-se realizar os cálculos para todos os dias do ano, considerando as informações a seguir:

- **Azimute solar** é o ângulo da projeção da posição do sol em relação ao norte; e
- **Altura solar** é o ângulo entre a posição do sol e plano terrestre, como na Figura 12 a seguir.

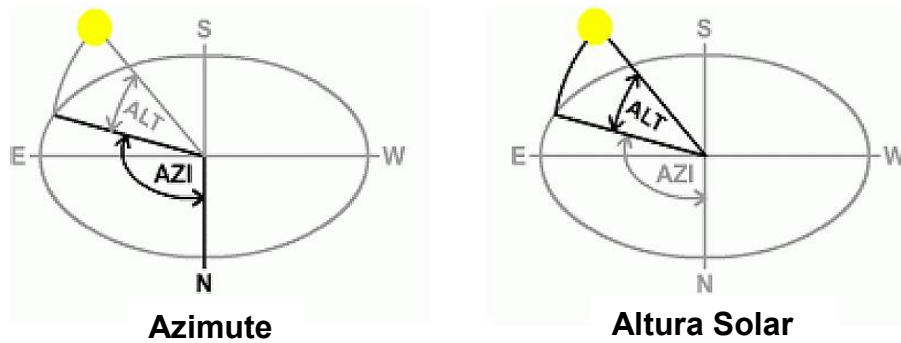


FIGURA 12 – Azimute e Altura solar
Fonte: Lamberts, 2018

Segundo Lamberts (2018), para a elaboração dos diagramas solares de Azimute e Altura solar, tem que ser considerado o Sol realizando a trajetória diária em torno da terra (fixa), alterando seu percurso de acordo com a época do ano, como mostra a Figura 13.

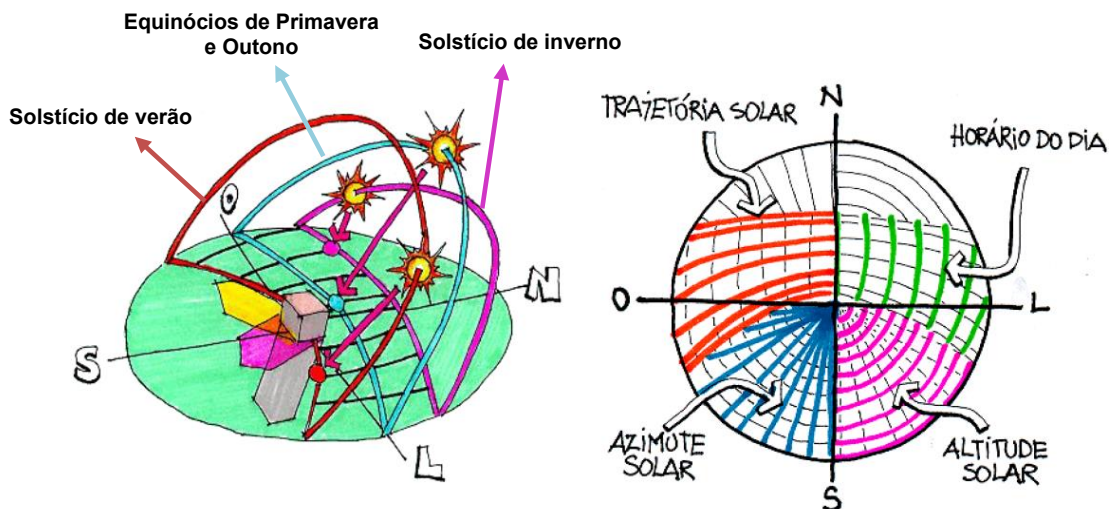


FIGURA 13 – Trajetória solar ao longo do ano e informações que podem ser lidas na Carta solar.

Fonte: Adaptado de Lamberts, 2018

Considerando o que foi descrito, pode-se encontrar o melhor ângulo para posicionar uma superfície para receber maior quantidade de radiação solar durante o ano todo, para cada cidade. No caso de São Carlos, utilizou-se da Carta Solar a seguir:

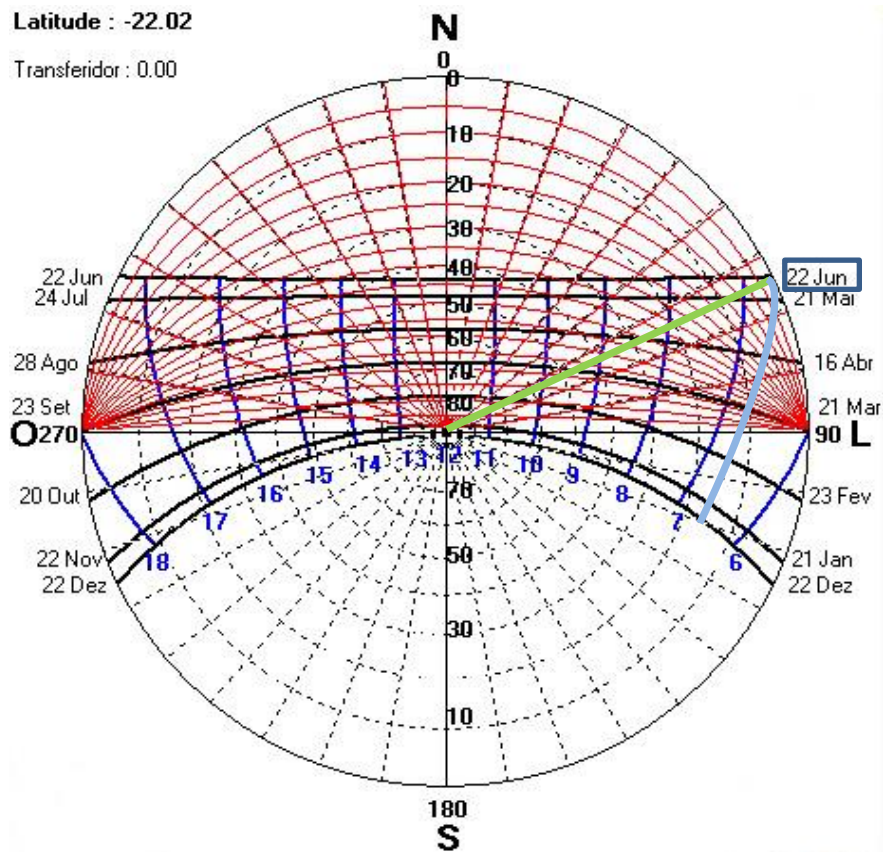


FIGURA 14 – Exemplo de Indicação da altura do sol e seu azimute em relação ao norte para as 6h40 do dia 22 de junho, na a Carta Solar da cidade de São Carlos.

Fonte: Adaptado de Software SOL – AR 6.2, 2016

Dessa maneira, calculando o azimute e altura solar para, pelo menos, as quatro trajetórias principais para a cidade de São Carlos, tem-se os valores e suas médias na tabela 8, a seguir:

TABELA 8 – Ângulos da Altura solar para 4 as trajetórias principais do Sol, durante o ano, em relação aos horários do dia.

	Solstício de inverno (22 de Junho)		Equinócio de Primavera (23 de Setembro)	Solstício de verão (22 de Dezembro)	Equinócio de Outono (21 de Março)
Horário	Azimute	Altura	Altura	Altura	Altura
5h20	-	-	-	0°	-
6h	-	-	0°	9°	0°
6h40	63°	0°	-	-	-
7h	61°	5°	14°	23°	14°
8h	54°	17°	29°	35°	29°
9h	45°	27°	40°	49°	40°
10h	33°	36°	52°	63°	52°
11h	18°	42°	63°	75°	63°
12h	0°	44°	68°	89°	68°
13h	341°	41°	63°	75°	63°
14h	328°	35°	53°	62°	53°
15h	315°	27°	41°	49°	41°
16h	304°	16°	28°	35°	28°
17h	288°	5°	14°	22°	14°
17h20	286°	0°	-	-	-
18h	-	-	0°	9°	0°
18h40	-	-	-	0°	-
Médias		26,82°	42,27°	45,77°	42,27°

Calculou-se o Azimute do Solstício de inverno só para exemplificar, pois o que interessa para cálculo é a Altura solar em cada horário do dia.

Portanto, o ângulo de inclinação para aplicação de telhas numa cobertura, para receber mais radiação durante todo o ano, levando em consideração o cálculo da média em relação as médias de cada Altura na tabela, é de aproximadamente **39° 16' 48"**, muito próximo ao ângulo de 45° de inclinação em que as telhas de PPHM foram posicionadas para realização do ensaio de Intemperismo natural.

4.1.3. Ensaio físicos e mecânicos

Como o trabalho teve como base metodologias anteriores, não foram realizados os mesmos ensaios de caracterização mecânica para verificação dos resultados em laboratório, pois sendo estes painéis frutos de trabalhos já realizados em parceria, considerou-se que as características físicas-mecânicas são as mesmas,

já que os painéis foram produzidos com o mesmo material, com a mesma resina, no mesmo local, com os mesmos equipamentos e nas mesmas condições climáticas.

4.2. Segunda etapa do Trabalho

Como os resultados de caracterização físico-mecânicos apresentados no item 5 (subitem 5.1), foram satisfatórios e atenderam os requisitos normativos, optou-se por fabricar as telhas com *Pinus* sp. tratados com CCB, para dar continuidade aos ensaios não realizados, pois foram as telhas que obtiveram melhores resultados, levando em consideração os ensaios realizados em parceria até esta fase da pesquisa.

Para esta segunda fase, o método para produção de mais telhas foi o mesmo e seguido conforme o recomendado por Nascimento (2016). Os ensaios realizados nesta etapa foram: Reflectância difusa, Condutividade térmica, Rugosimetria, Colorimetria das telhas de PPHM e de cerâmica. Também foram feitas Análise qualitativa, conversão de Reflectância para Absortância, cálculos das propriedades térmicas de transmitância térmica, atraso térmico da telha e de suas composições.

Dessa forma, foram produzidos mais 6 painéis com *Pinus* sp. tratados com CCB, nas dimensões de 300 mm x 300 mm x 10 mm, como na Figura 15, sendo que destes, 2 painéis foram deixados *In natura*, outros 2 foram impregnados com Osmocolor Stain Preservativo, da Montana Química (3 demãos) e outros 2 foram revestidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona (3 demãos).

Ressalta-se que por não encontrar o produto Nobile Lasur utilizado nos ensaios de Intemperismo Natural, Rugosimetria das telhas de PPHM e Colorimetria das telhas de PPHM, optou-se por substituir o produto por Osmocolor Stain Preservativo, do mesmo fabricante e por possuir características semelhante com o produto anterior para os ensaios restantes.

Segundo Montana Química Ltda (2019), tanto o Osmocolor Stain Preservativo quanto o Nobile Lasur são impregnantes para elementos porosos (chamados de revestimentos impregnantes), pois penetram na madeira formando películas muito finas, com acabamento acetinado. Também possuem ação hidro-repelente, duplo filtro solar que protege contra a radiação ultravioleta. A única diferença é que o primeiro possui ação fungicida.



FIGURA 15 – Da esquerda para a direita: Painel de PPH sem revestimento; Painel de PPH revestido com Osmocolor; e Painel de PPH revestido com Mamona.

Fonte: Arquivo próprio, 2019

4.2.1. Ensaio de Reflectância Difusa

Para os ensaios de **Reflectância difusa**, foram retirados 5 corpos-de-prova de um painel de cada tipo descrito anteriormente, nas dimensões de aproximadamente 25 mm x 25 mm x 10mm.



FIGURA 16 – Telha tipo Romana.

Fonte: Arquivo próprio, 2019

Dados da Telha Romana utilizada:

- **L** 24,5cm x **C** 40,7cm x **Lp** 37,1 cm;
- 2,60 Kg por peça (foi pesada e confirmada sua massa);
- **Rm** = 16 T/ m²;
- 41,5 Kg por m².
- Carga 1300 N.
- **Gm** – 33,1 cm
- Planaridade 4 mm (em relação a L total).

Onde:

- **L**= largura;
- **C**= Comprimento;
- **Lp**= posição do furo ou pino de amarração (retângulo destacado embaixo da telha);
- **Rm**= rendimento médio; e
- **Gm**= Galga mínima; que é a relação entre as distâncias entre os apoios das telhas de sobreposição.

Mais 5 corpos-de-prova, nas dimensões referidas, foram retirados da telha cerâmica tipo Romana, utilizando Maquita Figura 17 (dentre as mais utilizadas no mercado), da empresa Telhas Ponte Alta, de Barra Bonita, no estado de São Paulo. Totalizando, assim, 20 corpos-de-prova.

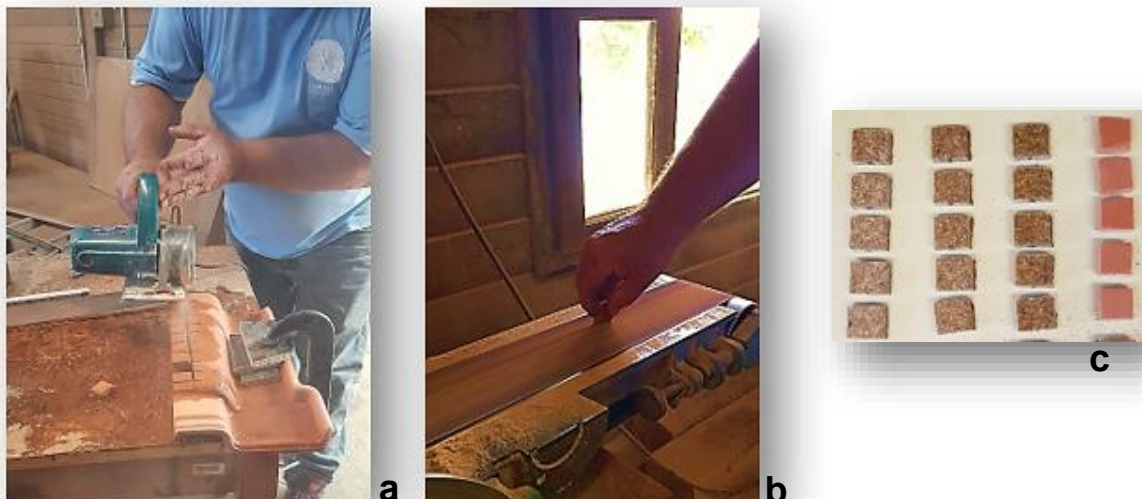


FIGURA 17 – (a) Corpos-de-prova de telha cerâmica sendo cortados com Maquita; **(b)** corpos-de-provas sendo lixados; e **(c)** total de 28 corpos-de-provas.

Fonte: Arquivo próprio, 2019

Os ensaios de **Reflectância difusa** da telha produzida com os painéis de

resíduos de madeira, em laboratório, e da telha cerâmica tipo Romana, foram realizados no Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica – LIEC, do Instituto de Química da Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR. O equipamento utilizado foi o Espectrofotômetro Varian Cary 5G UV-Vis-NIR Spectrophotometer, na Figura 18.



FIGURA 18 – Máquina de ensaio Varian Cary – Espectrofotômetro.
Fonte: Arquivo próprio, 2018

Considerando o que prescreve a ASTM E 903 (2012):

- ✓ As medições devem ser realizadas na faixa de comprimento de onda de 300 a 2500 nm aproximadamente;
- ✓ O equipamento deve ser calibrado com o uso de uma (ou mais) amostra padrão;
- ✓ As medições no espectrofotômetro obtêm os valores de Reflectância espectral da amostra para os comprimentos de onda medidos; e
- ✓ A energia espectral é constante ao longo de todo o processo de análise.

Apesar do espectro solar padrão estar definido no intervalo de 300 nm a 2500 nm, que é o intervalo que apresenta maior concentração de energia proveniente do Sol, neste trabalho, foi considerado o intervalo de 350 nm a 800 nm, considerando o espectro visível (380 nm a 760 nm), pois trata-se de um material opaco, ou seja, não ocorre transmitância de luz por refração. Transmitância, segundo Hirata (2008), é a proporção entre luz transmitida no ar e aquela que atravessa a amostra por comprimentos de onda.

A Transmitância influencia diretamente nos materiais transparentes e translúcidos, como os vidros, pois parte da radiação é transmitida para o interior da habitação por meio da Refração da radiação. Deve-se redobrar a atenção para os estudos no intervalo dos comprimentos de onda referentes a parte do Infravermelho, já que este é responsável pelo aquecimento do ambiente (calor). A radiação atravessa o vidro e não retorna, esquentando o ambiente.

O equipamento foi calibrado utilizando duas amostras de parâmetro, uma com 99% de refletância (branco) e outra com 2% de Refletância (preto). As amostras são da *Labsphere*. Gráfico 2:

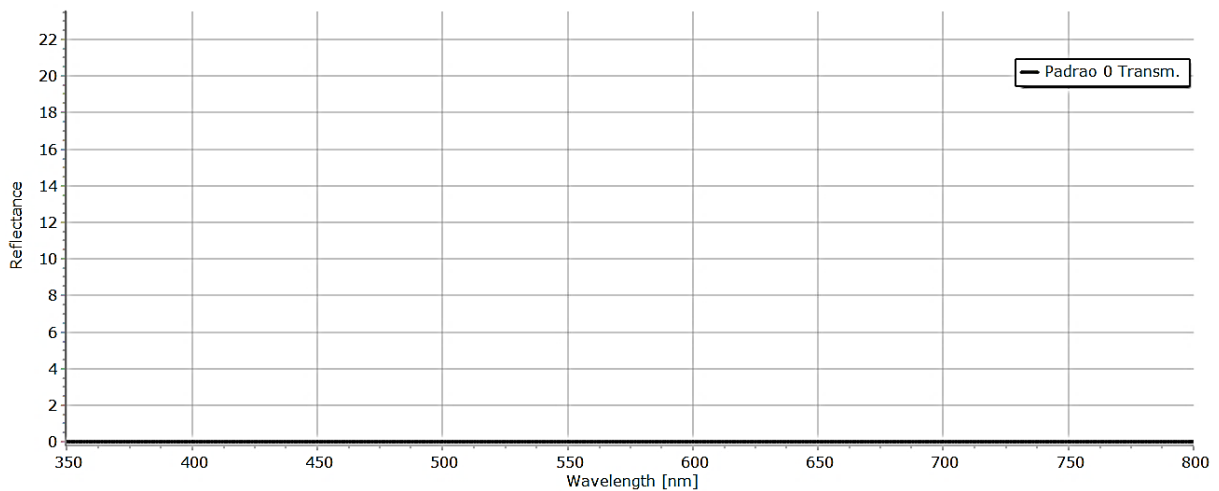


GRÁFICO 2 – Amostra de calibragem na cor preta (2% de Refletância).
Fonte: Arquivo de dados do ensaio no equipamento Spectrofotômetro, 2019

As Reflectâncias dos corpos-de-prova foram obtidas para cada 1 nm de comprimento de onda a partir de curvas em um gráfico que relaciona Comprimento de onda (eixo x) e Porcentagem de refletância de radiação de onda (eixo y), conforme o Gráfico 2.

De acordo com Pereira et al. (2015), a refletância espectral obtida na medição em porcentagem [%] do corpo-de-prova, é dividida por 100, resultando em um valor adimensional.

Os valores dos ensaios de Absortância foram convertidos utilizando os softwares SpectraGryph 1.2.13 – Spectroscopy e Excel (Microsoft, EUA).

De acordo com a ASTM E 903 (2012), a energia spectral é constante durante a medição, pois não há perdas de energia como ocorre na atmosfera terrestre, até ela atingir a superfície. O Espectrofotômetro não faz esta distinção.

De acordo com Pereira et al. (2015), a ASTM E 903 (ASTM, 2012) e a norma ASHRAE 74 (ANSI; ASHRAE, 1988) tratam do método de medição de Reflectância espectral utilizando espectrofotômetros com esferas integradoras, que é o mais indicado para a realização do ensaio em amostras com superfícies planas e homogêneas. O tamanho máximo da amostra para realizar o ensaio depende do equipamento, mas geralmente é 5 cm x 5 cm. A imprecisão da medição é da ordem de 2% ($\pm 0,02$ absoluto).

Na Figura 19, pode-se ver como foi o procedimento de encaixe dos corpos-de-prova. As dimensões nominais dos corpos-de-prova de aproximadamente 25 mm x 25 mm x 10 mm não são padronizadas, como já descrito anteriormente, depende do equipamento.

O corpo-de-prova tem que cobrir a fenda (Figura 19) para que não tenha escape de luz, para não comprometer o ensaio. Desta maneira, foi medido o diâmetro da fenda no próprio local para posteriormente cortar os corpos-de-prova, conforme recomendado pelo pesquisador Dr. Ailton José Moreira, quem operou a máquina.



FIGURA 19 – Máquina Varian Cary 5G utilizada para o ensaio de Reflectância.

Fonte: Arquivo próprio, 2019

A esfera integradora é revestida por um material altamente refletivo.

A amostra foi colocada de modo que fique a 0°, em relação ao plano (Figura 20a);

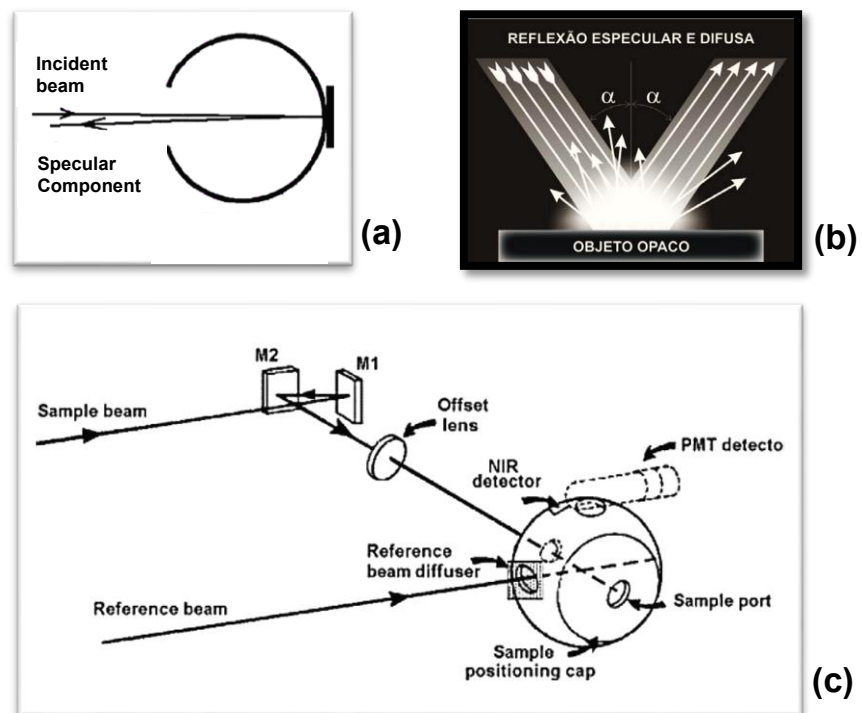


FIGURA 20 – (a) Posição do corpo-de-prova na fenda; (b) Reflexão especular e difusa; e (c) percursos do feixe de radiação dentro do equipamento Espectrofotômetro.

Fonte: Guide Varian WinUV; e LOPES, 2019

O feixe escolhido de radiação espectral, atinge o espelho M1 e é refletido em M2, passa pela lente, pela porta de transmissão e de reflectância e é centrado no corpo-de-prova;

O feixe é difundido por toda a esfera antes de ser medido pelo detector;

O feixe de referência entra pela esfera de integração pela fenda de referência e é disperso também;

Caso ocorra algum componente especular da reflexão (responsável por causar a sensação de brilho), ele é refletido de volta pela porta de transmissão e desviado pela lente angular, impedindo a sua reentrada na esfera.

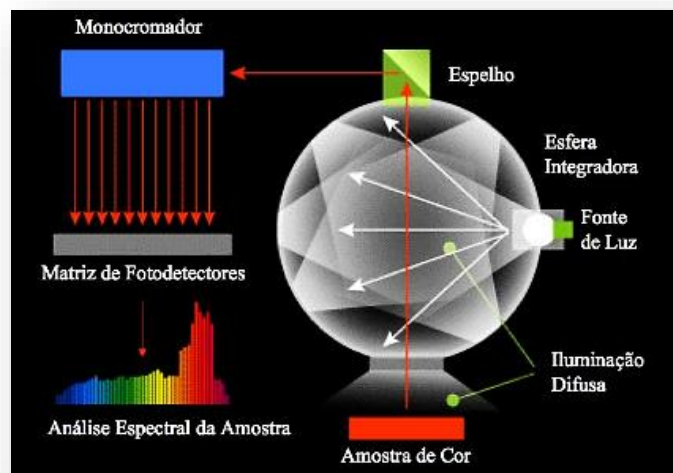


FIGURA 21 – Esquema do Espectrofotômetro com esfera de integração difusa.
Fonte: HIRATA, 2008

Segundo Hirata (2008), o Espectrofotômetro é um equipamento constituído basicamente por uma fonte de luz, um monocromador e um detector. Possui uma fonte de luz (lâmpada de deutério ou xenônio) que emite radiação eletromagnética na região do Ultravioleta do espectro e outra (lâmpada de tungstênio) que emite na faixa do espectro visível. O monocromador separa o feixe de luz pelo seu comprimento de onda, por meio da difração, formando o espectro do corpo-de-prova analisado.

O feixe de radiação com o intervalo de comprimentos de onda escolhido na medição incide sobre a amostra de forma direta por meio da fenda, assim como o feixe de referência. A radiação difundida pela amostra e a da referência na esfera de integração é detectada por uma fotomultiplicadora situada na parte de cima (Figura 21).

4.2.2. Ensaio de Condutividade Térmica

Para o ensaio de **Condutividade Térmica**, foram retirados 5 corpos-de-prova de cada um dos 3 painéis restantes, utilizando uma Furadeira de bancada (Helmaq – Helmo) e uma Serra de Copo de 5 cm de diâmetro.

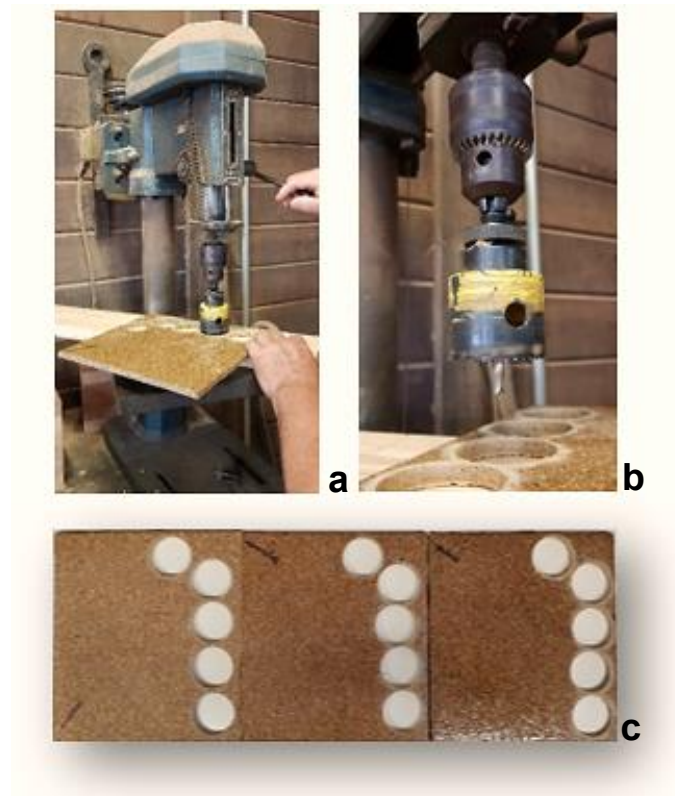


FIGURA 22 – (a) Furadeira de bancada Helmaq; **(b)** Serra de copo de aço com 5 cm de diâmetro; e **(c)** PPHM sem revestimento, PPHM revestido com Osmocolor e PPHM revestido com PU Mamona.

Fonte: Arquivo próprio, 2019

Mais 5 corpos-de-prova foram retirados da telha cerâmica, totalizando 20 corpos-de-prova, para a realização do ensaio de Condutividade Térmica. Foram utilizados os seguintes equipamentos: Maquina com serra dentada para cerâmica, Lixadeira profissional portátil Black & Decker, com lixas de 60 e 80, para dar acabamento aos corpos-de-prova.

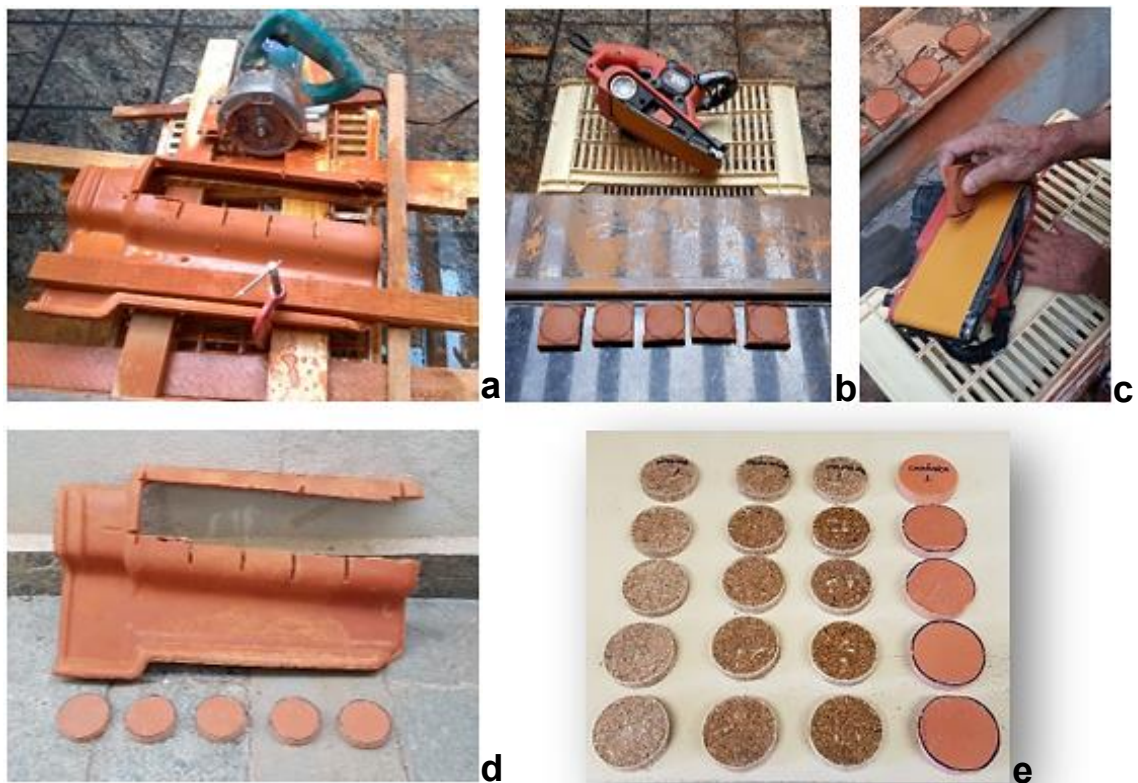


FIGURA 23 – (a) Maquina com disco dentado para corte de cerâmica; (b) Lixadeira e corpos-de-prova marcados por compasso (5 cm de diâmetro); (c) corpos-de-prova sendo lixados; (d) corpos-de-prova já lixados; e (e) 20 corpos-de-prova.

Fonte: Arquivo próprio, 2019

Para o ensaio de **Condutividade térmica**, utilizando paquímetro digital, foram retiradas as dimensões dos corpos de prova: espessura e diâmetro em milímetros [mm] que foram convertidos para metro [m]; a massa dos corpos-de-prova em gramas [g] utilizando balança digital, e que também foi convertida em quilograma [kg], para calcular as suas densidades (Tabela 9).

A partir do ensaio de Condutividade térmica das telhas, foram calculados a Resistência térmica do material, conseqüentemente sua Transmitância e o atraso térmico, para saber qual o tempo que leva para a quantidade da mesma energia calor ultrapassar para o interior da habitação.

TABELA 9 – Especificações dos corpos-de-prova para o Ensaio de Condutividade térmica.

Corpos de prova	Espessura [m]	Raio [m]	Área círculo [m²]	Massa [Kg]	Densidade [kg/m²]
Cp I1	0,018	0,025	0,0020	0,0186	519,906
Cp I2	0,018	0,025	0,0020	0,0190	516,116
Cp I3	0,017	0,025	0,0020	0,0193	568,256
Cp I4	0,017	0,025	0,0020	0,0186	545,704
Cp I5	0,019	0,025	0,0020	0,0188	488,002
Cp O1	0,015	0,025	0,0020	0,0208	708,870
Cp O2	0,017	0,025	0,0020	0,0199	571,365
Cp O3	0,015	0,025	0,0020	0,0182	596,544
Cp O4	0,018	0,025	0,0020	0,0201	550,781
Cp O5	0,017	0,025	0,0020	0,0200	591,200
Cp M1	0,018	0,025	0,0020	0,0178	497,208
Cp M2	0,018	0,025	0,0020	0,0201	554,877
Cp M3	0,016	0,025	0,0020	0,0195	593,907
Cp M4	0,017	0,025	0,0020	0,0203	580,021
Cp M5	0,016	0,025	0,0020	0,0185	560,230
Cp T1	0,011	0,027	0,0023	0,0532	2087,681
Cp T2	0,011	0,027	0,0023	0,0527	2070,869
Cp T3	0,012	0,027	0,0022	0,0534	2034,631
Cp T4	0,010	0,027	0,0023	0,0516	2255,269
Cp T5	0,011	0,027	0,0023	0,0532	2097,806

Onde:

I – In Natura; **O** – Osmocolor; **M** – resina poliuretana a base de óleo de Mamona; e **T** – Telha cerâmica tipo Romana de Barra Bonita/SP.

Para este ensaio o equipamento utilizado foi o Thermal Conductivity Tester DTC – 300 Marca Discovery (Figura 24). Ele mede a Condutividade Térmica por meio do método do fluxo de calor protegido descendente, de acordo com o que prescreve a norma ASTM E 1530 (2011).

Durante o procedimento, o prato superior manteve uma temperatura de 45° C e o inferior de 15° C, para garantir um fluxo descendente de 30° C passando pelos-corpos-de-prova.



FIGURA 24 – Thermal Conductivity Tester DTC – 300; e passagem do fluxo de calor descendente pelo corpo-de-prova.

Fonte: TA instruments, 2019

O ensaio foi realizado no Laboratório de Construções rurais e Ambiente, Núcleo de Pesquisa em Materiais para Biosistemas, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de alimentos, da Universidade de São Paulo (FZEA/USP), de Pirassununga.

4.2.3. Equações utilizadas para os cálculos das propriedades térmicas

Em relação às propriedades térmicas descritas, a seguir estão as fórmulas utilizadas para seus cálculos:

(a) A Resistência térmica (R) é calculada pela fórmula a seguir:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (m^2 \cdot K/W) \quad (3)$$

Onde:

- R = Resistência térmica;
- λ = Condutibilidade térmica do material; e

- e = Espessura do material.

A Resistência total pode ser obtida pelo somatório de todas as resistências térmicas das n camadas que constituem o material, de acordo com as fórmulas a seguir:

- Considerando as resistências de superfície a superfície (R_t):

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn} \dots \quad (m^2 \cdot K/W) \quad (4)$$

Onde:

- $R_{t1}, R_{t2}, \dots, R_{tn}$ são as resistências térmicas das n camadas homogêneas, determinadas pela fórmula 2;

- $R_{ar1}, R_{ar2}, \dots, R_{arn}$ são as resistências térmicas das n câmaras de ar, demonstradas na tabela 10 (Tabela B.1 da norma referida).

- Considerando as camadas de ambiente a ambiente (R_T):

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (5)$$

Onde:

- R_t é a resistência térmica de superfície a superfície, determinada pela expressão 3;

- R_{se} e R_{si} são as resistências superficiais, externa e interna respectivamente, obtidas da Tabela 9 a seguir (tabela A.1 da norma em questão), considerando o fluxo descendente.

TABELA 10 – Resistência térmica superficial interna e externa.

$R_{si} (m^2 \cdot K/W)$			$R_{se} (m^2 \cdot K/W)$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	↑	↓	⇒	↑	↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: adaptado da Tabela A.1, da Norma 15220, 2005

TABELA 11 – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas com largura muito maior que a espessura.

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura “e” da câmara de ar cm	Resistência térmica R_{ar} $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Notas:

1 ε é a emissividade hemisférica total.

2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.

3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.

4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

Fonte: adaptado da Tabela B.1 da Norma 15220 (2005)**(b)** Transmitância térmica ou Coeficiente global de transferência de calor

(U):

$$U = \frac{1}{R_T} \quad W/(m^2.K) \quad (6)$$

(c) Densidade de massa aparente:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad kg/m^3 \quad (7)$$

(d) Calor específico ou Capacidade térmica específica (c):

$$c = \frac{C}{m} \quad J/(Kg.K) \quad (8)$$

Onde:

- C = é a capacidade térmica, em joules por kelvins (j/k);
- c = é o calor específico, em joules por quilograma kelvins (j.kg⁻¹.K⁻¹);
- M = é a massa, em quilogramas (kg).

Por meio da densidade de massa aparente do painel de partículas de madeira produzido e dos outros materiais utilizados para este estudo, foram identificados valores do calor específico e condutividade térmica nas Tabelas 8, Tabela 2, correspondentes as Tabelas B.3, D.1 e D.2 da NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

Ressalta-se que os dados utilizados do Ar, foram os seguintes: calor específico do AR = 1 e densidade do AR= 0.

(e) Capacidade térmica de componentes (C_T):

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad kJ/(m^2 \cdot K) \quad (9)$$

Onde:

- λ = Condutibilidade térmica do material da camada i;
- R = Resistência térmica da camada i;
- e = Espessura da camada i;
- c = Calor específico do material da camada i;
- ρ = Densidade de massa aparente do material da camada i;
- C_T = Capacidade térmica do componente.

(f) Atraso térmico (φ): o atraso térmico está relacionado com a Capacidade térmica do material. Pode é calculado em dois casos diferentes.

- No caso de elemento homogêneo, formado apenas por um único componente, o atraso térmico é calculado pelas fórmulas a seguir:

$$\varphi = 1,382 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{3,6 \cdot \lambda}} \quad (10)$$

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T} \quad (11)$$

Onde:

- φ = atraso térmico;
- e = espessura da placa;
- λ = condutividade térmica do material;
- ρ = densidade de massa aparente do material;
- c = calor específico do material;
- R_t = resistência térmica de superfície à superfície do componente;
- C_T = a capacidade térmica do componente.

- No caso de elementos heterogêneos, formado por vários componentes sobrepostos, o atraso térmico é calculado pelas fórmulas a seguir:

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 \cdot B_2} \quad (12)$$

Onde:

- R_t é a resistência térmica de superfície à superfície do componente;
- B_1 é dado pela expressão 11;
- B_2 é dado pela expressão 12.

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} \quad (13)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right) \quad (14)$$

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} \quad (15)$$

Onde:

- C_T é a capacidade térmica total do componente;
- $C_{T_{ext}}$ é a capacidade térmica da camada externa do componente.

De acordo com a norma, o índice “ext.” nas equações anteriores, refere-se à camada (material) externa do componente. Caso o número de B_2 seja negativo, considerar este nulo.

No caso do atraso térmico, foram calculados considerando somente a telha; telha e manta impermeabilizante; telha câmara de ar e manta; e telha, manta e camada de lã de rocha (telha sanduíche).

Portanto, para cálculo de valores com índice “ext”, foram utilizados os valores da telha.

(g) Absortância à radiação solar (α): a absortância está relacionada com a cor da superfície do material, dada pela tabela 9 a seguir, adaptada da Tabela B.2 da norma referida.

Para materiais opacos:

$$\rho + \alpha = 1 \quad (16)$$

Onde:

- ρ = % de energia solar incidente refletida; e
- α = % de energia solar incidente absorvida.

4.2.4. Ensaio de Rugosimetria

Para este ensaio foi utilizado um Rugosímetro portátil digital, Romatex (Figura 25).



FIGURA 25 – Equipamento Romatex digital, utilizado para medir a rugosidade das telhas de PPHM e da telha cerâmica.
Fonte: Arquivo próprio, 2018

Este equipamento possui uma ponta de diamante com sensor, que se movimenta de maneira linear e perpendicularmente sobre a superfície da telha, para fazer a leitura de picos e vales. Esta leitura é convertida em sinais elétricos, que são amplificados, filtrados e transformados em sinais digitais por meio de conversor A/D (Analogico/Digital). Os sinais são processados em valores de Ra [μm] ($\mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$).

Os corpos-de-prova apresentaram 350 mm de comprimento, com a largura entre 100 mm e 120 mm, de acordo com os requisitos da NBR 6405 (ABNT, 1988).

Foram realizadas três leituras em cada mês, no centro de cada telha e posteriormente avaliada as médias entre as leituras.

Onde:

Ra é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas dos afastamentos dos pontos do perfil de rugosidade, em relação à linha média do percurso de medição.

Os ensaios foram realizados no LaMEM (Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras), do Departamento de Engenharia de Estruturas, da Escola de Engenharia de São Carlos, EESC, da Universidade de São Paulo.

4.2.5. Ensaio de Colorimetria

Para análise da variação de cores das telhas expostas ao intemperismo natural, foi utilizado o sistema CIELab. Segundo Gonzalez et al. (2001) o sistema CIE L* a* b* de 1976 é o mais utilizado dentre outros tipos de metodologias existentes para a quantificação e medição da cor, pois possui critérios mais uniformes de avaliação.

A análise visual e a caracterização das cores é realizado por um comitê técnico que compõe a CIE (Comission Internationale de l'Eclairage, ou International Commission on Illumination, ou ainda Comissao Internacional de Iluminação) que utilizam-se de uma diretriz para análise da colorimetria, desde sua padronização (X,Y, Z) em 1931 em Cambridge, na Inglaterra (LEÃO, et al., 2003).

O equipamento utilizado para a realização do ensaio foi o Konica Minolta, Colorímetro CR – 410 (Figura 26). Este é constituído por um cabeçote para a leitura (as leituras foram feitas sobre o centro das telhas) com área de medição de diâmetro de 50 mm. O equipamento também é composto por um processador com sensor interno (responsável pelo registro das leituras) e uma fonte.

O equipamento é muito utilizado na indústria alimentícia e faz leituras de alimentos secos e pastosos, plásticos, amostras irregulares como: grânulos, tecidos, pedras, madeiras e tijolos.



FIGURA 26 – Equipamento colorímetro Konica Minolta CR – 410.
Fonte: Catálogo Konica Minolta, 2019

Foram realizadas leituras da Luminosidade ou claridade, Matiz ou tonalidade e da Cromaticidade ou saturação, a cada mês de exposição, das Telhas de PPHM, ao intemperismo natural e calculadas as suas médias. No caso das telhas cerâmicas, foram realizadas em 3 telhas (como na Figura 27a e 27b). Dessa forma os resultados são dados diretamente no painel de visor (Figura 27c), que considera:

L^* é a Luminosidade ou claridade;

As tonalidades ou matizes de base são: (a*) matiz vermelho ou vermelho-verde, (b*) matiz amarelo ou amarelo-azul;

(C) é a Cromacidade ou saturação;

ΔL^* é a variação de luminosidade;

Δa^* é a variação de a*;

Δb^* é a variação de b*.

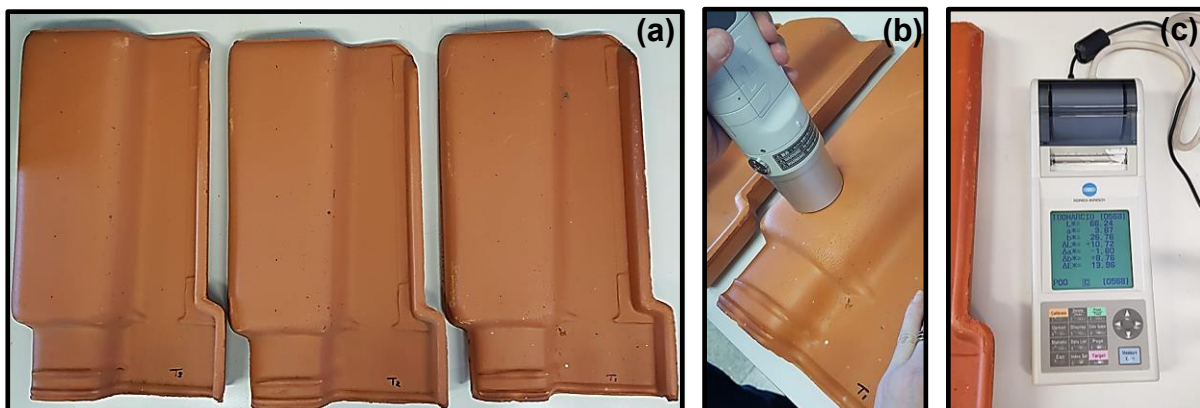


FIGURA 27 – (a) Telhas cerâmicas romanas; (b) telhas sendo ensaiadas; e (c) visor do Colorímetro.

Fonte: arquivo próprio, 2019

A luminosidade (L), define a escala de cinza entre o branco e o preto. Portanto, quanto maior o valor de L^* , mais clara é a cor e ao contrário, mais escura, ou seja, para preto absoluto $L^*=0$ e para branco total para $L^*=100$.

Neste sistema CIE, o olho humano possui três tipos de cores receptoras expressas nas tonalidades vermelho, verde, amarelo e azul, conhecidas como coordenada vermelho-verde ou matiz vermelho (a^*) e coordenada azul-amarelo ou matiz amarelo (b^*), e suas combinações. Desta forma, a escala de cores pode avermelhar (+a), esverdear (-a), amarelar (+b) ou azular (-b). Figura 28:

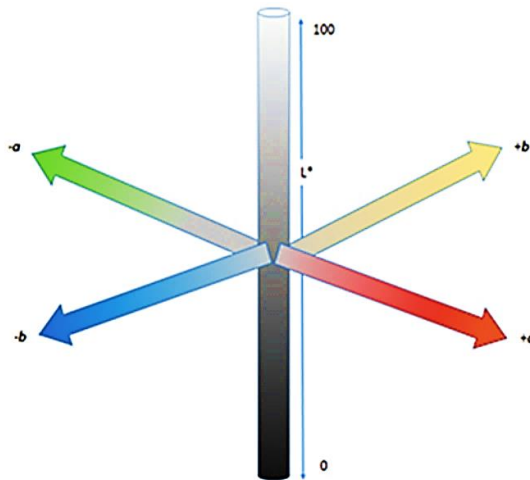


FIGURA 28 – Espaço de cor CIE $L^* a^* b^*$.
Fonte: FERREIRA, M.D.; SPRICIGO, P.C., 2019

Com relação a cromaticidade ou saturação (C), é o desvio a partir do ponto correspondente ao cinza na luminosidade (L^*).

Os ensaios foram realizados no LaMEM (Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras), do Departamento de Engenharia de Estruturas, da Escola de Engenharia de São Carlos, EESC, da Universidade de São Paulo.

4.2.6. Ensaio de Análise qualitativa do Intemperismo natural

Considerou-se a metodologia de Silva (2014) para a classificação das telhas após exposição as intempéries. As notas variam de zero a dez, de acordo com as condições observadas a seguir.

TABELA 12 – Avaliação para classificação visual das telhas de PPHM.

OBSERVAÇÃO	NOTA
Ótimo	9,1 a 10,0
Bom	7,1 a 9,0
Médio	5,1 a 7,0
Ruim	2,1 a 5,0
Péssimo	0,1 a 2,0
Perdido	0,0

Fonte: Silva, (2014)

A análise qualitativa dos corpos de prova de intemperismo natural, deu-se pela análise da aparência dos corpos-de-prova expostos. Considerou-se o adotado e

observado por Silva, (2014):

- ✓ O aspecto geral (AG): observa-se mantendo certa distância das amostras, sem levar em consideração os detalhes, os pormenores;
- ✓ A resistência ao tato (RT): é a análise pelo toque manual aplicada às amostras.
- ✓ A resistência a manchas (RM): análise do ataque por microrganismos, já que a exposição a umidade favorece tal situação;
- ✓ Resistência ao empenamento (RE): qualquer deformação no formato geométrico original do corpo de prova, dentre eles, o encurvamento, encanoamento, arqueamento ou torcimento;
- ✓ A resistência à descoloração (RD): ocorre com a degradação química dos componentes dos painéis, com perda de celulose ou lignina, o que interfere na modificação da cor de materiais lignocelulósicos;
- ✓ Resistência à fissura (RF): observa-se se existem pequenas fissuras, rachaduras ou fendas longitudinalmente ou transversalmente aos corpos-de-prova. Geralmente ocorrem em condições de alta umidade pela expansão da volumetria do corpo;
- ✓ Resistência a ondulação (RO): ocorre devido a existência de umidade no interior dos painéis, seja pela falta de homogeneidade de resina ou da camada impermeabilizante externa;
- ✓ Resistência a perda de brilho (RB): está relacionada com a durabilidade dos painéis, ou seja, sua redução é um dos primeiros sinais de degradação do material; e
- ✓ Resistência ao desprendimento de partículas (RDP): a perda de matéria-prima dos painéis ocorre pouca ou nenhuma resistência do adesivo ou a falha da camada externa quando submetido a condições extremas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho baseou-se nos melhores resultados dos tratamentos realizados em parceria com Nascimento (2016), portanto, os valores aqui mostrados são somente das telhas PPHM de *Pinus* sp. tratados com CCB. Os resultados dos ensaios da Etapa preliminar estão em Anexos.

5.1. Resultados das Propriedades físicas e mecânicas das telhas de PPHM

A caracterização físico-mecânica dos painéis de telhas produzidos foi realizada de acordo com os preceitos da norma ABNT NBR 14810:2006, ASTM 1037 – 1999 e ANSI A208.1-1999 e CS 236 – 66 – 1968. As dimensões dos corpos-de-prova foram as especificadas na norma brasileira com exceção dos corpos-de-prova para o ensaio de Inchamento e Absorção que tiveram suas dimensões de acordo com o que a ASTM 1037 - 1999.

Os resultados positivos dos ensaios realizados em parceria com Nascimento (2016), de Inchamento e Absorção de água, MOE e MOR, tração perpendicular as faces, Arrancamento de parafuso de face e de topo, confirmaram que o processo de produção das telhas de PPHM de *Pinus* sp. tratados com CCB poderia prosseguir para realizar os restantes dos ensaios.

5.1.1. Resultados dos ensaios físicos de inchamento e absorção

Os corpos-de-prova foram medidos e pesados antes de iniciar os ensaios.

Ressalta-se que foram separadas 4 telhas para cada ensaio e de cada uma foram retirados 4 corpos-de-prova, totalizando 16 corpos-de-prova.

TABELA 13 – Valores de Inchamento (I) e Absorção de água (AA) de PPHM de *Pinus* sp. CCB.

Cps/ Painel	Massa [g]	Massa [g]	[%]	Espessura [mm]	Espessura [mm]	[%]
	Inicial	24h		Inicial	24 h	
1/1	18,29	23,03	20,58	9,23	10,1	8,61
2/1	23,59	25,71	8,25	9,94	10,62	6,40
3/1	22,54	24,29	7,20	8,99	9,6	6,35
4/1	25,20	26,61	5,30	9,63	9,8	1,73
1/2	22,81	26,37	13,50	9,74	10,23	4,79
2/2	22,71	28,78	21,09	10,05	12,44	19,21
2/3	23,93	25,99	7,93	9,5	9,91	4,14
2/4	23,52	25,98	9,47	9,29	10,05	7,56
3/1	22,59	27,43	17,64	10,57	11,36	6,95
3/2	22,04	26,15	15,72	9,96	11,11	10,35
3/3	22,25	26,83	17,07	9,26	10,73	4,14
3/4	20,85	25,6	18,55	9,39	10,02	6,29
4/1	20,21	26,49	23,74	10,58	11,78	10,19
4/2	22,68	25,4	10,71	10,18	10,26	0,78
4/3	22,67	25,4	10,75	9,52	10,28	7,39
4/4	20,76	24,53	15,37	9,06	10,13	10,56
Média	22,29	23,40	4,74	9,68	10,53	8,07

Após 24h na água, a variação nos resultados de Inchamento (I) e Absorção de água (AA) foi baixa, o que é muito favorável no caso de aplicação dos painéis como telhas.

Cabral, et al. (2017) avaliaram propriedades física-mecânicas de painéis fabricados com de maravalhas de *Pinus* sp. e sisal, com 5 tratamentos variando porcentagens entre os resíduos. Os resultados médios variaram de 1053,07 MPa e 1266,72 MPa para MOE e 5,54 MPa e 8,73 MPa para MOR. Quanto a valores de Inchamento (I) e Absorção de água (AA), após 2 h variaram de 11,18 % a 23,53 % para I, e de 62,36 % a 100,13% para AA; e após 24 h, variaram de 11,77 % a 26,46 % para I, e de 96,17 % a 128,88 % para AA.

5.1.2. Resultados dos ensaios de Flexão – estática: MOR e MOE

Também foram avaliados o Módulo de ruptura (MOR) e Módulo de elasticidade (MOE) das telhas de PPHM fabricadas. Seguem os resultados na Tabela 14:

TABELA 14 – PPHM com resíduos de *Pinus* sp. tratados com CCB fabricados com resina poliuretana à base de óleo de Mamona – MOR e MOE.

Cp	Coef Ang [°]	Carga de Ruptura [Kgf]	Força Max [N]	L [mm]	e [mm]	Área [mm ²]	MOR [MPa]	MOE [Mpa]
1	44,15	133,77	7190,14	50,23	9,62	483,21	48,46	2452,94
2	50,62	151,47	8141,51	50,27	9,46	475,55	57,70	2954,98
3	55,16	164,26	8828,97	50,27	9,70	487,62	58,04	2987,28
4	53,56	163,27	8775,76	50,25	10,06	505,52	51,72	2601,30
5	67,51	194,75	10467,81	50,08	9,47	474,26	73,95	3943,51
6	57,32	170,16	9146,10	50,35	9,35	470,77	67,14	3460,24
7	53,72	159,34	8564,53	46,98	9,48	445,37	60,32	3334,90
8	40,63	120,00	6450,00	50,27	9,71	488,12	42,27	2193,44
9	52,14	149,50	8035,63	50,30	10,87	546,76	37,54	2005,11
10	46,19	131,80	7084,25	50,35	10,38	522,63	38,01	2038,23
11	58,93	180,00	9675,00	50,33	9,56	481,15	66,44	3329,57
12	61,48	185,90	9992,13	50,26	9,20	462,39	76,99	3902,84
13	57,09	167,21	8987,54	50,28	10,64	534,98	44,77	2342,12
14	51,70	148,52	7982,95	50,32	10,15	510,75	45,81	2441,44
15	60,06	174,09	9357,34	50,34	9,63	484,77	62,87	3319,50
16	63,47	189,83	10203,36	50,32	9,36	471,00	74,66	3821,42
Resultados							56,67	2945,55

Os valores obtidos nos ensaios de flexão foram superiores aos requisitos mínimos das normas utilizadas para análise:

- ANSI A 208.1 (USDA, 1999);
- Norma de Comercialização CS 236-66 (1968); e
- NBR 14810-2 e 3 (ABNT, 2013).

5.1.3. Resultados dos ensaios de Tração perpendicular às faces

TABELA 15 – Resultados do ensaio de Tração perpendicular às faces.

<i>Pinus sp. CCB</i>					
Cp/Painel	Força [Kgf]	Área [mm]	L [mm]	RTP [kgf/mm²]	RTP [MPa]
1/1	505	50,36	50,15	0,20	2,00
1/2	880	50,06	50,47	0,35	3,48
1/3	1500	50,17	50,36	0,59	5,94
1/4	1600	50,16	50,32	0,63	6,34
1/2	740	49,66	50,29	0,30	2,96
2/2	1050	49,53	50,37	0,42	4,21
3/2	950	49,57	50,44	0,38	3,80
4/2	370	50,03	50,31	0,15	1,47
1/3	930	49,87	50,23	0,37	3,71
2/3	610	49,37	50,46	0,24	2,45
3/3	1570	49,93	50,34	0,62	6,25
4/3	605	49,67	50,46	0,24	2,41
1/4	750	49,76	50,39	0,30	2,99
2/4	1000	49,75	50,3	0,40	4,00
3/4	930	49,77	50,2	0,37	3,72
4/4	650	49,59	50,16	0,26	2,61
Média				0,36	3,6

Os valores médios de RTP obtidos para as telhas PPHM foram superiores ao valor mínimo da NBR 14 810/2 – 2013, de 0,6 MPa. Portanto, podem ser utilizados até como painéis estruturais.

5.1.4. Resultados dos ensaios de Arrancamento de parafusos de face

Os resultados do ensaio estão descritos na Tabela 16, a seguir:

TABELA 16 – Resultados do ensaio de Arrancamento de parafusos face – PPHM de *Pinus* sp. CCB.

Corpos-de-Provas	Força [Kgf]	Força [N]
1	150	1470
2	145	1421
3	205	2009
4	145	1421
5	135	1323
6	175	1715
7	160	1568
8	185	1813
9	185	1813
10	160	1568
11	170	1666
12	190	1862
13	135	1323
14	160	1568
15	0	0
16	210	2058
Média	157	1537

Os valores mostraram que alguns resultados de Arrancamento de parafusos face dos corpos-de-prova PPHM são superiores ao valor mínimo de norma Canadense CS 236 – 66, que é de 2004 N (Newtons) para painéis de alta densidade, denotando a possibilidade de aplicação de PPHM em forma de telhas por meio da fixação de parafusos.

5.1.5. Resultados dos ensaios de Arrancamento de parafusos topo

TABELA 17 – Resultados de Arrancamento de parafusos topo – PPHM de *Pinus sp.* CCB.

Corpos-de-Provas	Força [Kgf]	Força [N]
1	210	2058
2	260	2548
3	260	2548
4	333	3263,4
5	220	2156
6	315	3087
7	240	2352
8	165	1617
9	340	3332
10	335	3283
11	370	3626
12	270	2646
13	235	2303
14	290	2842
15	320	3136
16	0	0
Média	260	2550

Alguns valores dos resultados de Arrancamento de parafusos de topo dos PPHM são superiores ao valor mínimo de norma Canadense CS 236 -66, de 1.580 N (Newtons) para painéis de alta densidade. Todos os resultados são superiores ao valor mínimo para Norma ANSI A 208-1-1999, que é de 1325 N (Newtons), possibilitando o uso de PPHM como telhas e, caso necessário, a aplicação de parafusos no topo nas mesmas.

5.2. Resultados dos ensaios de Propriedades térmicas dos painéis de telhas

5.2.1. Resultados de Reflectância e conversão para as curvas com valores de Absortância

Os valores das curvas dos ensaios de Absortância foram resultantes dos ensaios de Reflectância convertidos com a utilização dos softwares SpectraGryph 1.2.13 – Spectroscopy e Excel (Microsoft, EUA).

(a) A Reflectância medida no ensaio (no intervalo de espectro escolhido [nm]) resulta em dados de Reflectância [%] por cada 1 nm de comprimento de onda [nm].

(b) A Reflectância (ρ) é a relação entre Intensidade de irradiância refletida e a Intensidade do Espectro total recebida:

$$\rho = \frac{I \text{ refletido}}{I_0 \text{ incidente}} \quad \text{ou} \quad \rho = \frac{\text{Reflectância [\%]}}{100} \quad (17)$$

Onde:

- I refletido [%];
- I_0 incidente total = 100 %
- ρ é a Intensidade relativa da irradiância, Reflectância, para cada comprimento de onda;
- I é Intensidade refletida, ou seja, a relação de Intensidade recebida correspondente ao comprimento de onda [nm]; e
- I_0 é a Intensidade recebida, no caso do Espectrofotômetro, é 100 %.

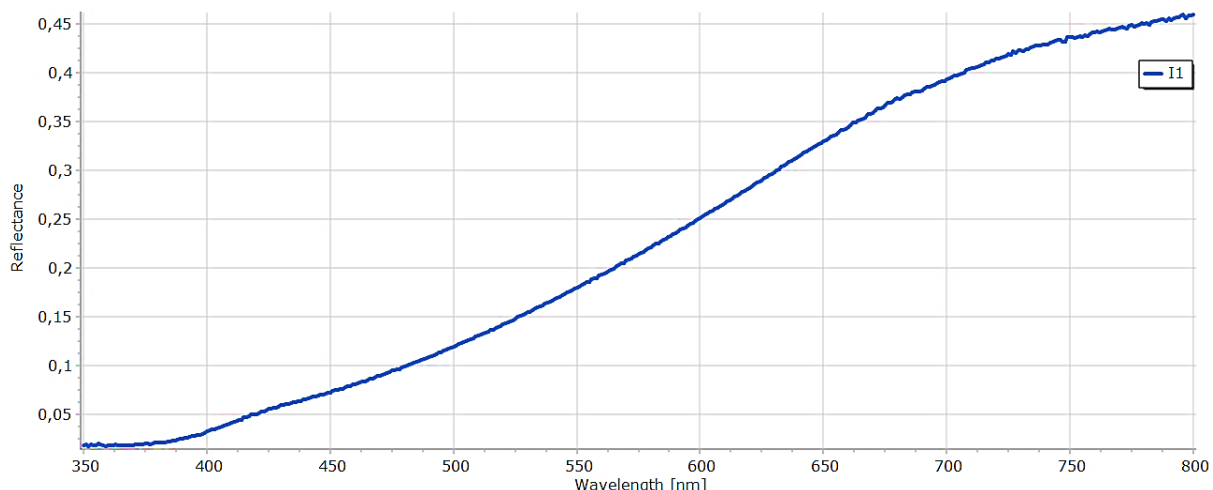


GRÁFICO 3 – Valores de Reflectância do corpo-de-prova *In Natura* I1, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Equipamento Varian Cary 5G, 2019

Desta maneira, para encontrar em [%] os valores de Reflectância do Gráfico 3, basta multiplicar os valores por 100.

O software Software Spectragryph 1.2.13. calcula a Reflectância a partir de espectros de Intensidade. Para as Absortâncias, o cálculo realizado foi o seguinte:

- (c) Considerando 100% a energia de radiação espectral incidida, a partir da Reflectância [%] encontra-se a porcentagem absorvida em [%], para cada comprimento de onda, por meio da fórmula:

$$\alpha = 1 - \rho \quad (18)$$

Convertendo todos os gráficos de Reflectância ([%]/100) para Absortância, tem-se resultados para cada corpos-de-prova.

5.2.1.1. *Curvas com valores de Absortância das telhas de PPHM “In Natura” (I1 a I5)*

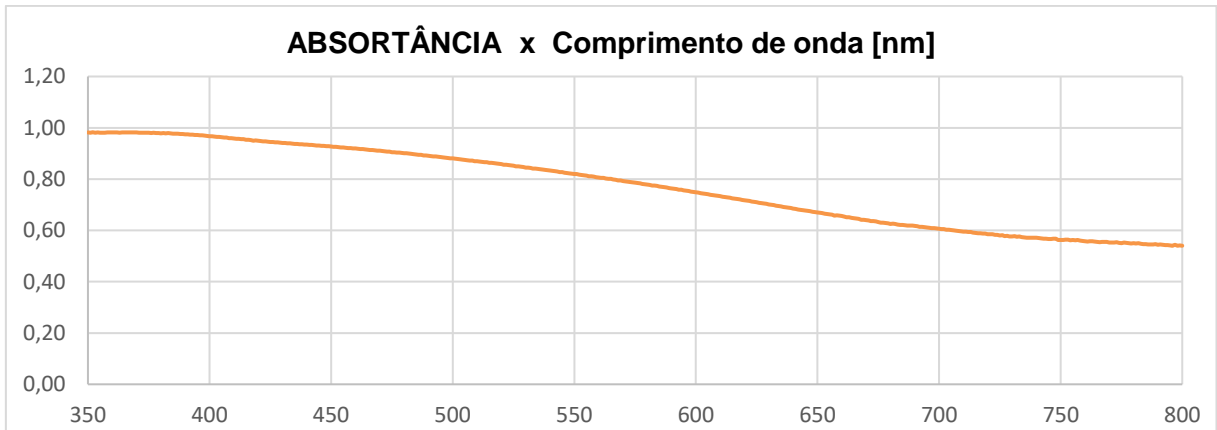


GRÁFICO 4 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova I1, telha PPHM *In Natura*, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

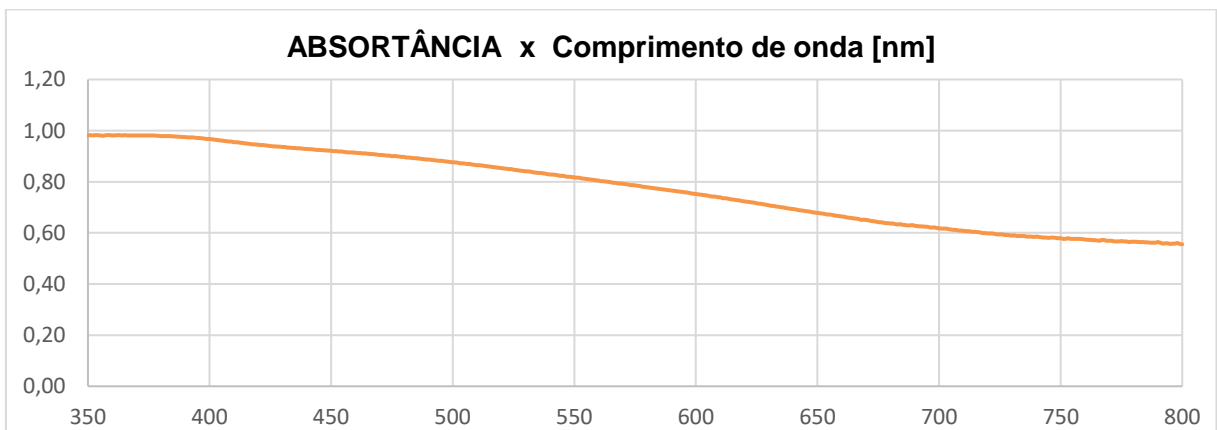


GRÁFICO 5 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova I2, telha PPHM *In Natura*, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

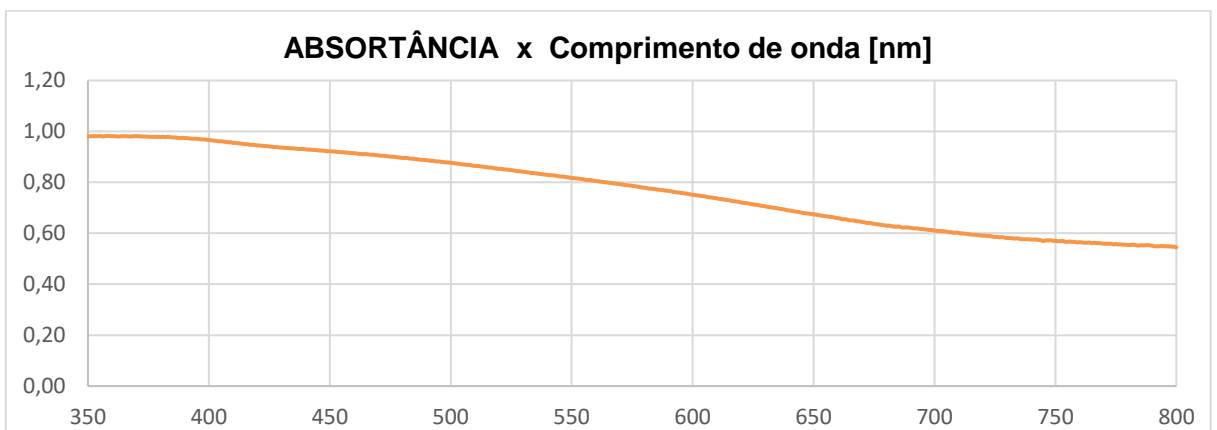


GRÁFICO 6 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova I3, telha PPHM *In Natura*, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

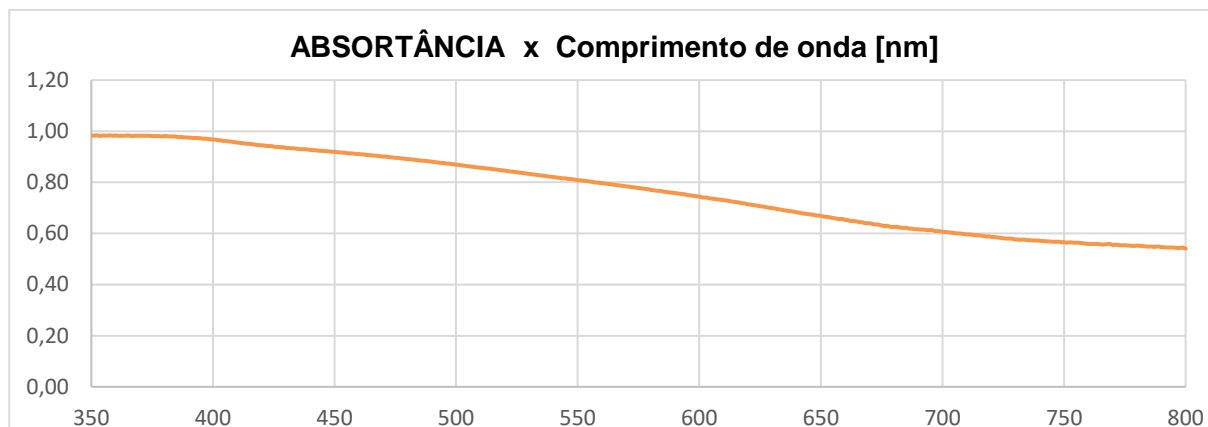


GRÁFICO 7 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova I4, telha PPHM *In Natura* por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

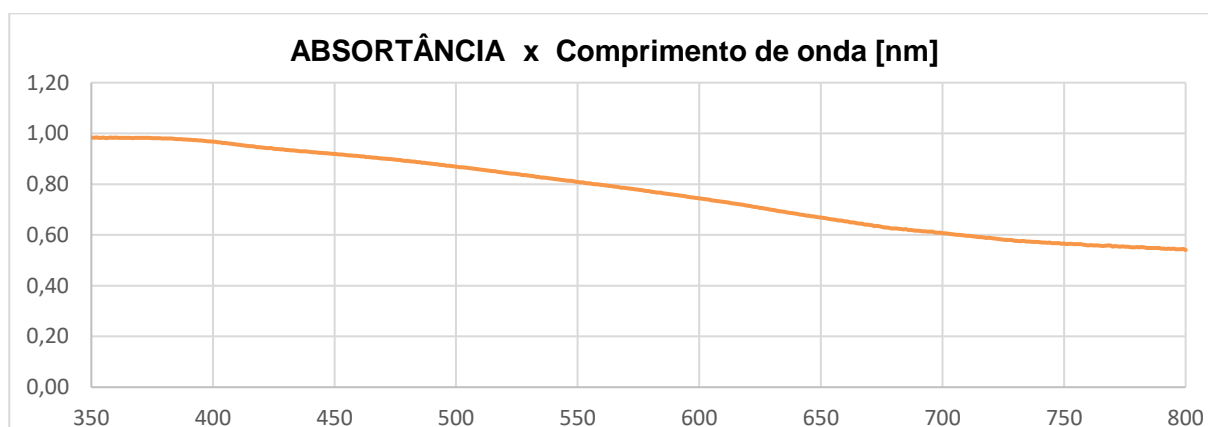


GRÁFICO 8 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova I5, telha PPHM *In Natura*, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

Para as Telhas de PPHM *In Natura*, a variação de absorção de radiação para o UV foi por volta dos 99%. Cai constante até o comprimento de onda 700 nm. E continua caindo de modo mais moderado até o fim da medição.

5.2.1.2. Curvas com valores de Absortância das telhas de PPHM com Osmocolor (O1 a O5)

A seguir os gráficos dos corpos-de-prova de telha PPHM, revestidos com Osmocolor Stain Preservativo da Montana Química Ltda. que possui proteção a radiação UV - radiação ultravioleta (350 nm a 380 nm, na medição).

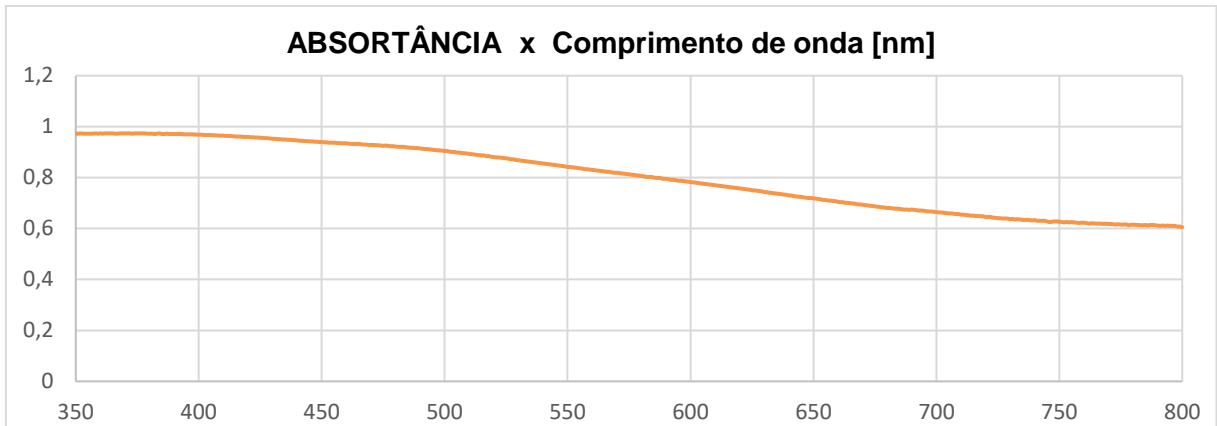


GRÁFICO 9 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova O1, revestido com Osmocolor, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

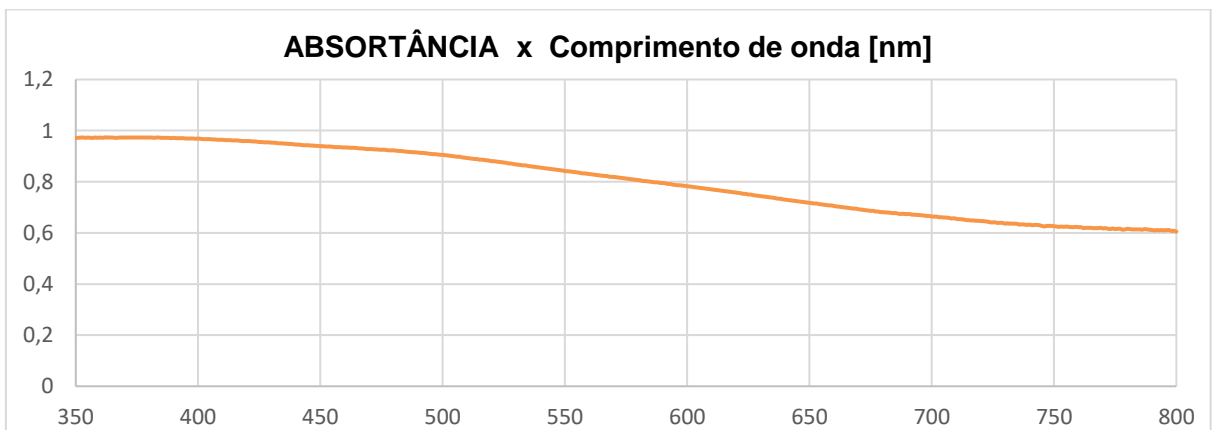


GRÁFICO 10 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova O2, revestido com Osmocolor, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

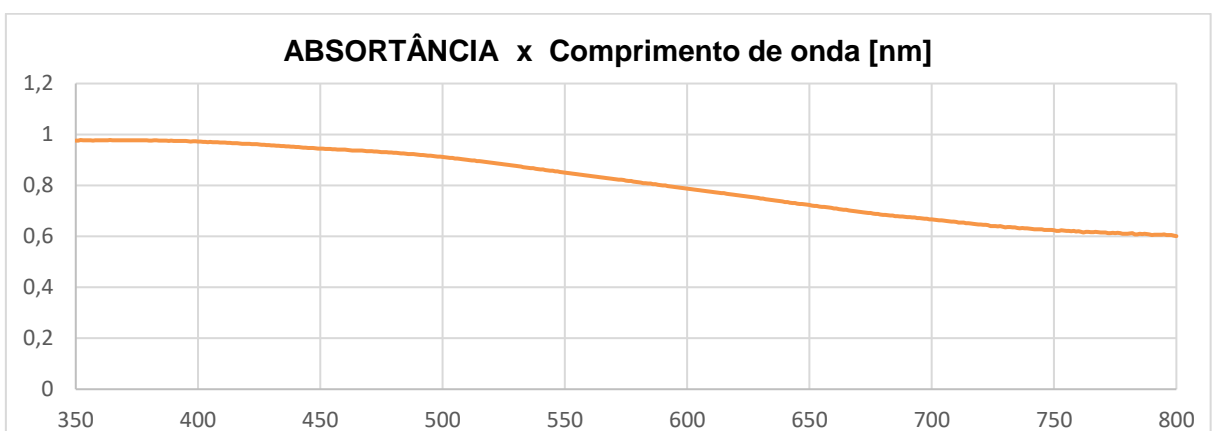


GRÁFICO 11 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova O3, revestido com Osmocolor, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

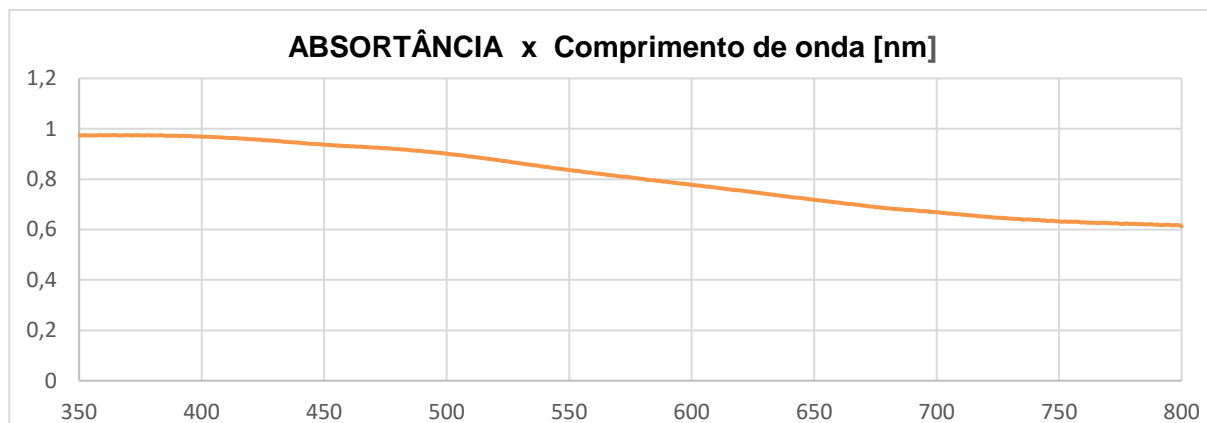


GRÁFICO 12 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova O4, revestido com Osmocolor, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

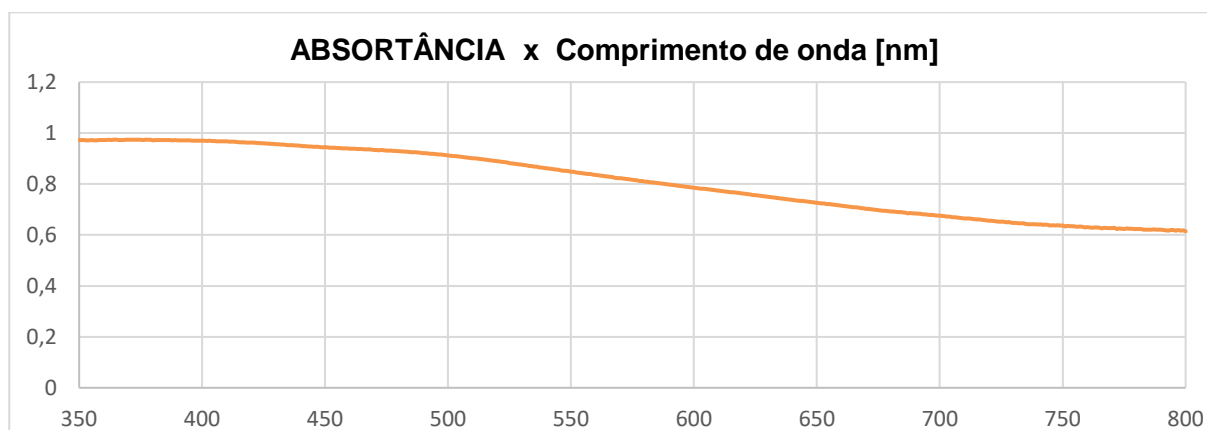


GRÁFICO 13 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova O5, revestido com Osmocolor, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

Para as Telhas de PPHM revestidas com Osmocolor, a variação de absorção praticamente continua constante, desde o começo da medição (parte do UV) até o comprimento de onda 400 nm. E depois ela cai mais moderadamente do que as telhas *In Natura*.

5.2.1.3. Curvas com valores de Absortância das telhas de PPHM com Mamona (M1 a M5)

A seguir os gráficos dos corpos-de-prova de telha PPHM, revestidos com Resina poliuretana à base de óleo de Mamona:

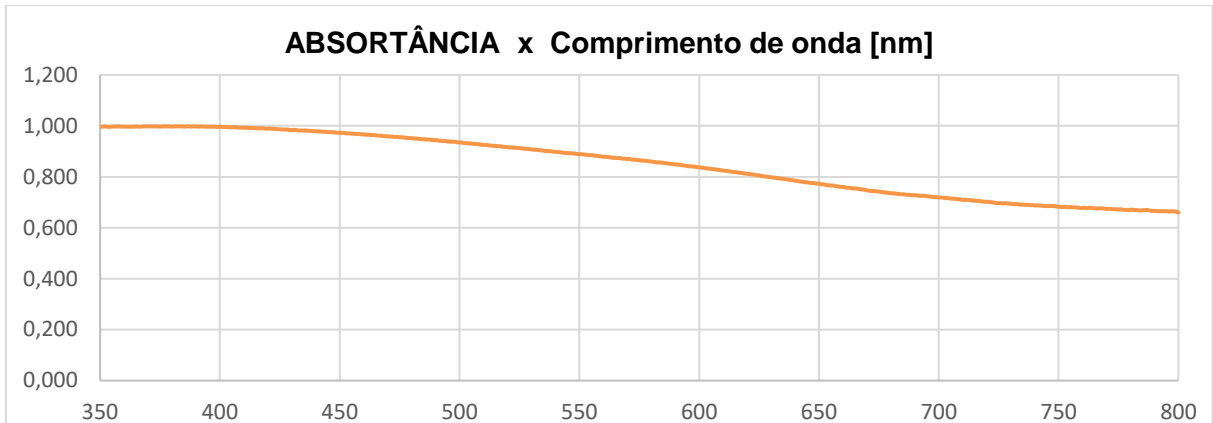


GRÁFICO 14 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova M1, revestido com Mamona, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

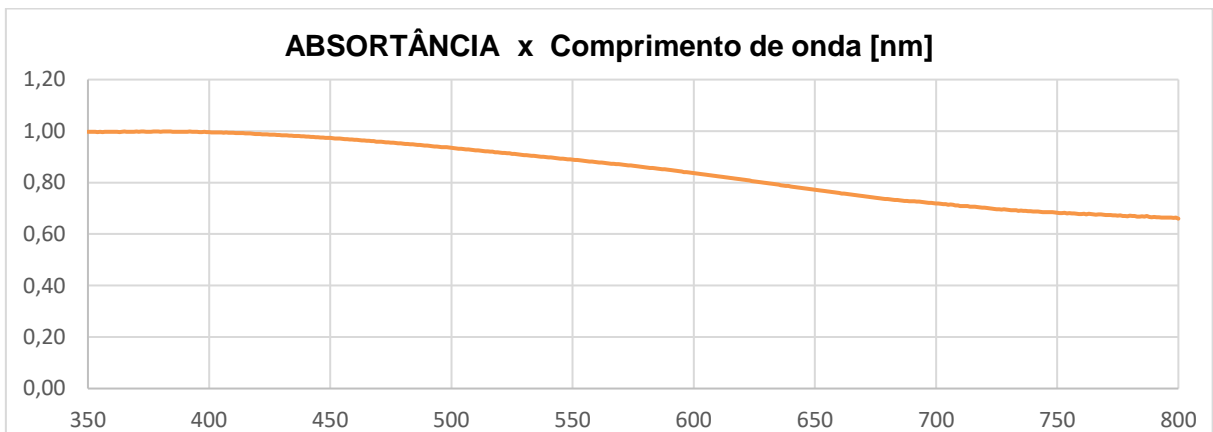


GRÁFICO 15 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova M2, revestido com Mamona, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

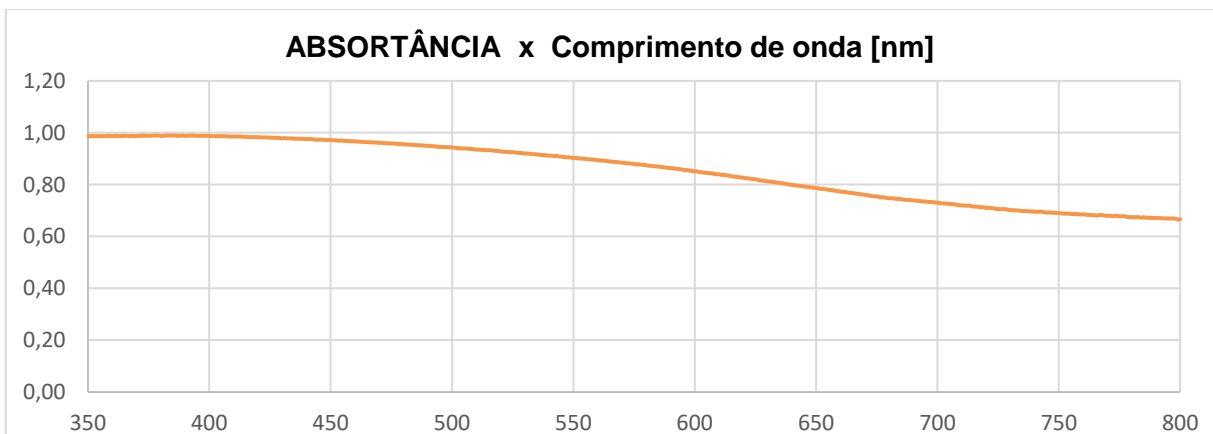


GRÁFICO 16 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova M3, revestido com Mamona, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

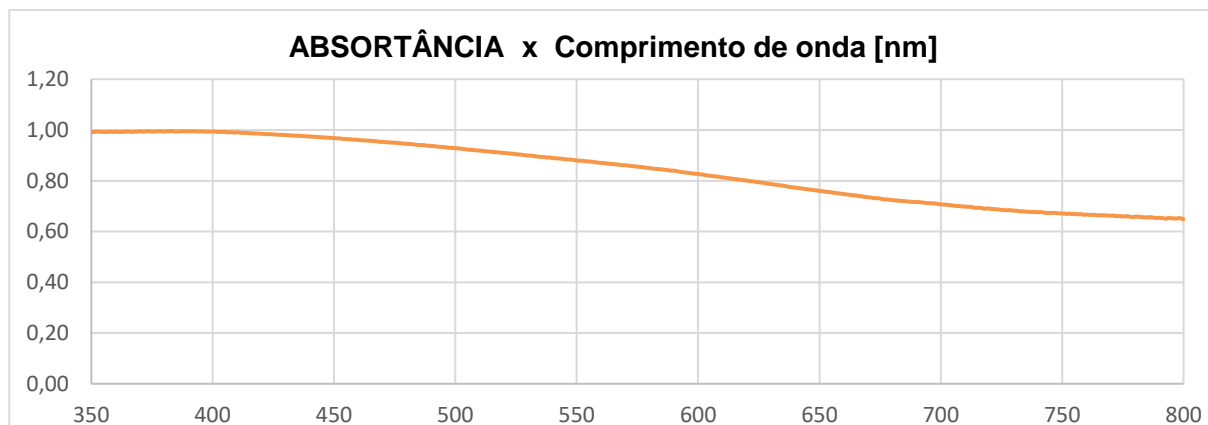


GRÁFICO 17 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova M4, revestido com Mamona, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

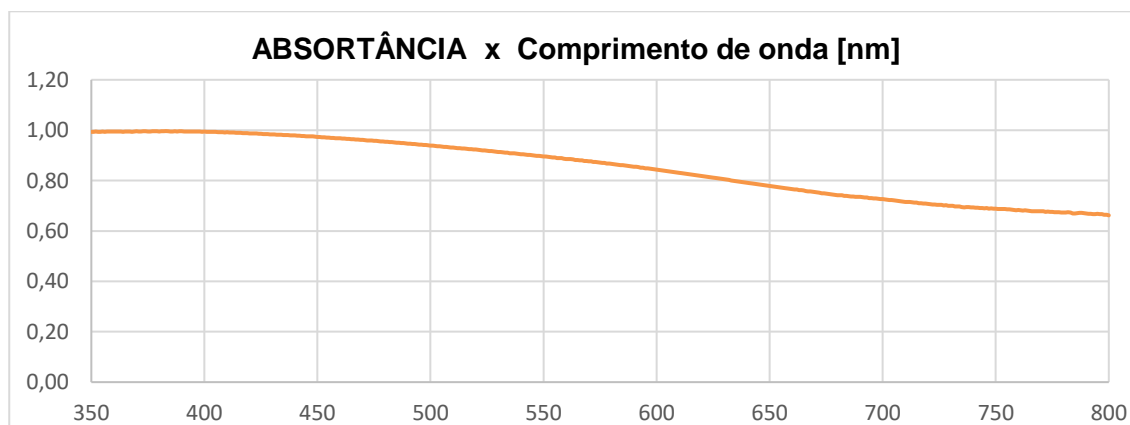


GRÁFICO 18 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova M5, revestido com Mamona, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

Para as Telhas de PPHM revestidas com Mamona, os valores de Absortância ultrapassaram os 100%, do início da medição (350 nm) até aproximadamente os 420 nm. Apresenta uma queda moderada até os comprimentos de onda entre 650 nm e 700 nm. A partir deste ponto continua diminuindo de maneira mais constante até o final da medição, 800nm.

5.2.1.4. *Curvas com valores de Absortância das telhas cerâmicas (T1 a T5)*

A seguir os gráficos dos corpos-de-prova de Telha cerâmica do tipo Romana:

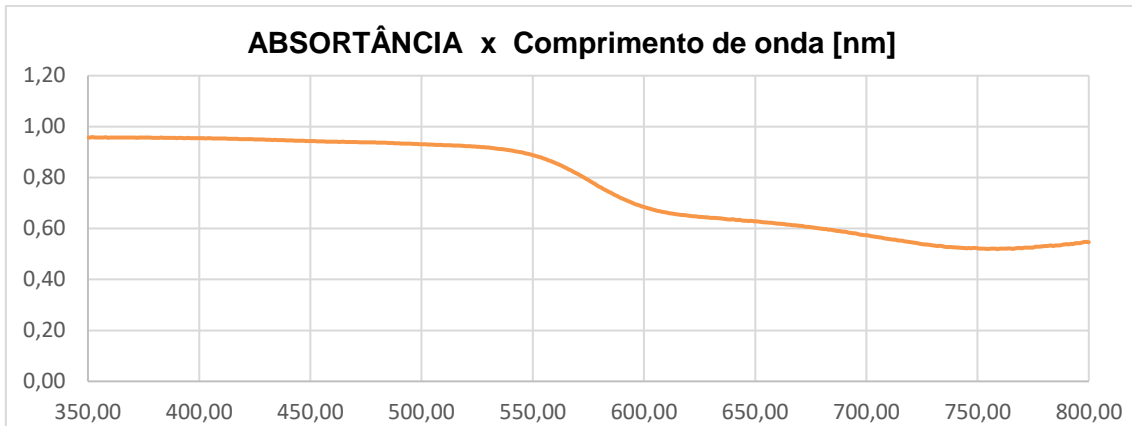


GRÁFICO 19 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova T1, Telha cerâmica, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

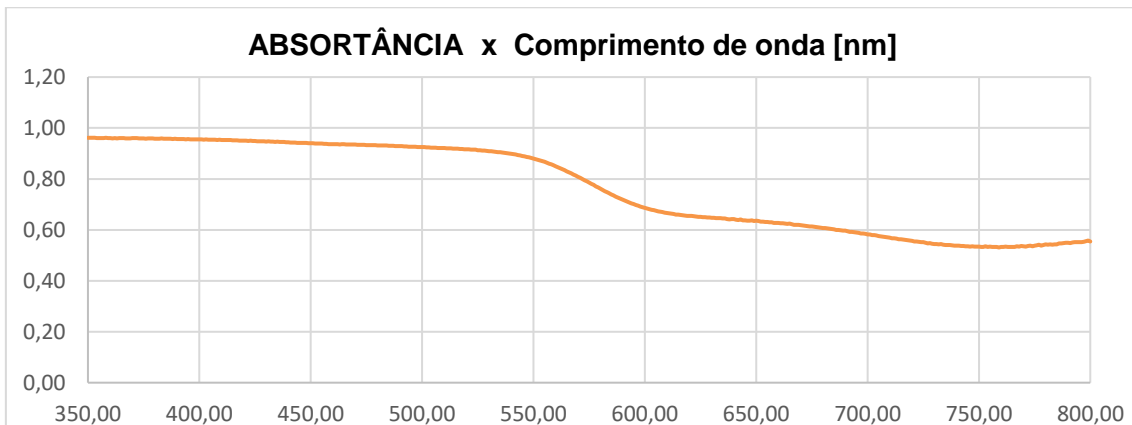


GRÁFICO 20 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova T2, Telha cerâmica, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

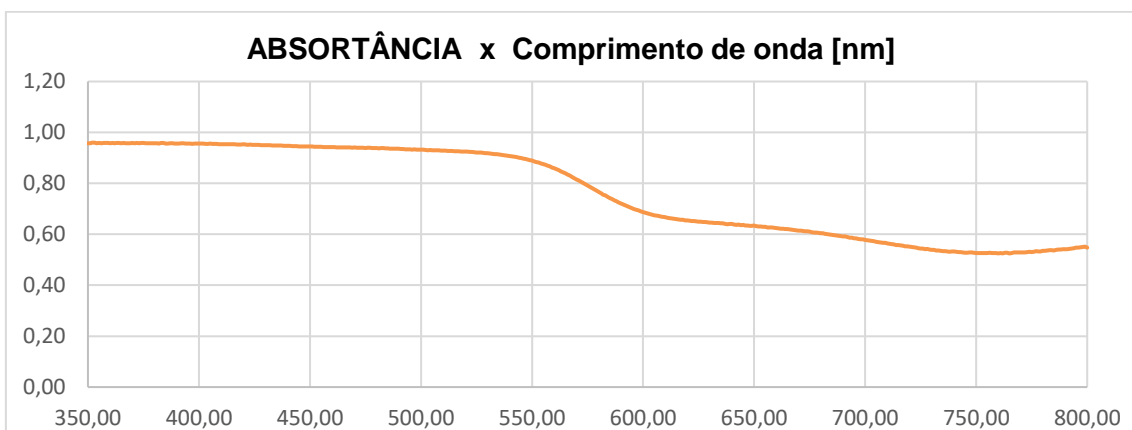


GRÁFICO 21 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova T3, Telha cerâmica, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

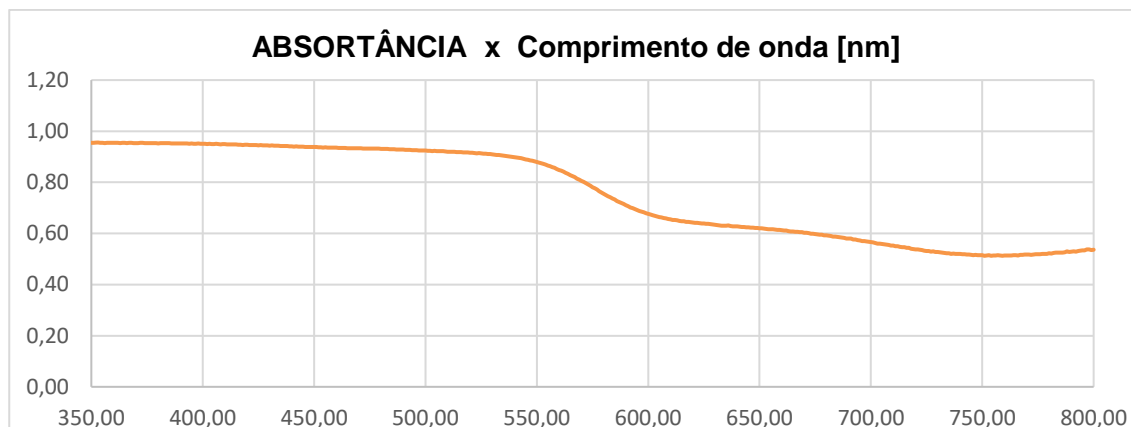


GRÁFICO 22 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova T4, Telha cerâmica, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

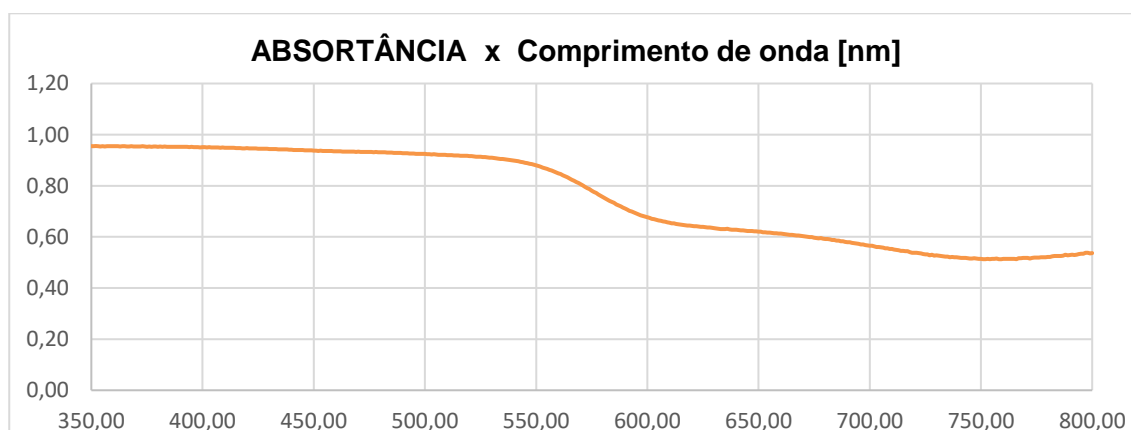


GRÁFICO 23 – Valores de Absortância [%] do corpo-de-prova T5, Telha cerâmica, por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Excel, autora, 2019

Para os corpos-de-prova da telha cerâmica do tipo Romana, a Absortância de radiação demora mais a diminuir. Tem uma queda bem suave, até aproximadamente o comprimento de onda correspondente a 550 nm. A partir deste ponto, ocorre uma queda mais acentuada na curva, até os 600 nm. Volta a diminuir de maneira mais gradual até os 750 nm, onde a Absortância começa a aumentar, até o fim da medição, já na região correspondente ao Infravermelho (calor).

A seguir, o Gráfico 24, que apresenta a compilação de todos os gráficos de Refletância dos corpos-de-prova anteriores:

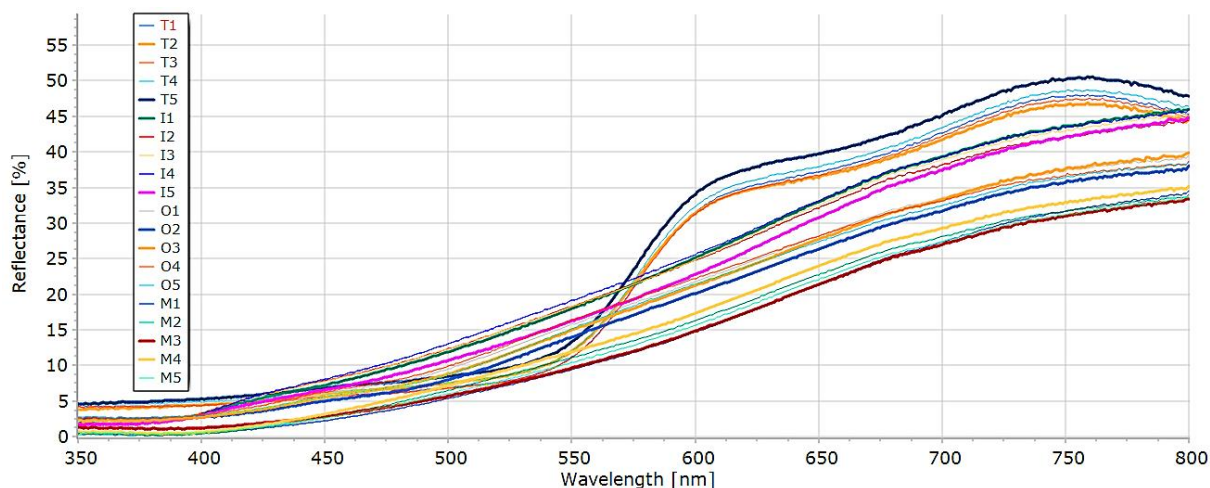


GRÁFICO 24 – Curvas de Refletância [%] para todos os 20 corpos-de-prova de telhas, de cima para baixo: Telha cerâmica (**T**), *In Natura* (**I**); revestidos com com Osmocolor (**O**); revestidos Mamona (**M**); e por comprimento de onda [nm].

Fonte: Gráfico feito no software Spectragryph 1.2.13, autora, 2019

Pelo Gráfico 24, nota-se que os valores de Refletância para comprimentos de onda menores, também são menores. As telhas de cerâmica e as de PPHM *In Natura*, foram as que mais refletiram e pelo contrário, nesta faixa do UV e começo do espectro visível, as Telhas de PPHM revestidas com Mamona foram as que praticamente não refletiram. Já por volta dos 760 nm, fim do espectro visível, as telhas de PPHM impregnadas por Osmocolor, ficam numa posição intermediária entre as telhas que mais refletem, e as que menos refletem, as Telhas de PPHM revestidas por Mamona.

5.2.2. Discussão dos resultados de Refletância difusa e Absortância

A seguir estão os resultados de Absortância [adimensional] para cada intervalo do espectro e sua média total, considerando a intensidade total absorvida independente do intervalo. Os valores de Refletância foram medidos no Espectrofotômetro e convertidos para Absortância.

TABELA 18 – Absortância por intervalo do espectro solar, medida no Espectrofotômetro.

Telha/Revestimento	UV (350 nm a 380 nm)	VIS (381 nm a 760 nm)	IV (361 nm a 800 nm)	Total
<i>In Natura</i> 1	1,01	0,78	0,56	0,77
<i>In Natura</i> 2	1,01	0,78	0,58	0,78
<i>In Natura</i> 3	1,01	0,78	0,57	0,77
<i>In Natura</i> 4	1,01	0,78	0,57	0,77
<i>In Natura</i> 5	1,01	0,80	0,58	0,79
Média <i>In Natura</i>	1,01	0,78	0,57	0,78
Osmocolor 1	1,01	0,81	0,64	0,81
Osmocolor 2	1,01	0,83	0,65	0,82
Osmocolor 3	1,01	0,82	0,63	0,81
Osmocolor 4	1,01	0,81	0,64	0,81
Osmocolor 5	1,01	0,81	0,64	0,81
Média Osmocolor	1,01	0,82	0,64	0,81
Mamona 1	1,03	0,86	0,69	0,85
Mamona 2	1,03	0,86	0,69	0,85
Mamona 3	1,02	0,87	0,69	0,86
Mamona 4	2,05	0,85	0,68	0,84
Mamona 5	1,03	0,86	0,69	0,85
Média Mamona	1,23	0,86	0,69	0,85
Telha 1	0,99	0,77	0,55	0,77
Telha 2	0,99	0,78	0,56	0,77
Telha 3	0,99	0,78	0,55	0,77
Telha 4	0,99	0,77	0,54	0,76
Telha 5	0,98	0,76	0,52	0,75
Média Telha Cerâmica	0,99	0,77	0,54	0,76

As Telhas cerâmicas e as Telhas de PPHM *In Natura* tiveram os melhores resultados de Absortância para comprimento de onda. Apesar da medição não abranger todo o intervalo referente ao Infravermelho (761 nm a aproximadamente 30.000 nm) que é responsável pelo maior aquecimento do ar dentro das edificações, quando não refletidos, pode-se notar que houve diminuição de Absortância de radiação nesta faixa, para todas as telhas, mas principalmente para as telhas mencionadas. Apesar da densidade da telha cerâmica ser mais alta do que as das telhas de PPHM, ela apresenta maior porosidade, absorvendo comprimentos de onda menor e frequências maiores.

As telhas PPHM revestidas com Osmocolor Stain Preservativo apresentaram-se acetinadas. O Osmocolor é um Impregnante bem diluído e foi bem absorvido pelas superfícies telhas. Apesar de possuir proteção UV, não apresentou resultados

diferentes consideráveis em relação as telhas de PPHM *In Natura* e das telhas cerâmicas.

As Telhas de PPHM revestidas com resina à base de óleo de Mamona foram as que alcançaram absorção acima dos 100%, e a partir dos 400 nm começa a diminuir de maneira gradual.

Como o equipamento é considerado mais adequado para a medição de Reflectância em superfícies opacas, suspeitou-se das superfícies brilhantes dos corpos-de-prova e também da possibilidade destas estarem muito irregulares. Para conferir e comparar com os resultados dos gráficos de Absortância foi realizada uma análise por meio de fotos dos perfis dos corpos-de-prova utilizados no ensaio de Reflectância difusa. O equipamento utilizado foi uma câmera digital Samsung com foco manual e tripé, para que fosse possível capturar o perfil das telhas com nitidez.

Nota-se que nas superfícies das Telhas de PPHM (Figuras 29 a 33) existem muitos picos e vales, provavelmente formados por bolhas e acúmulo do material.

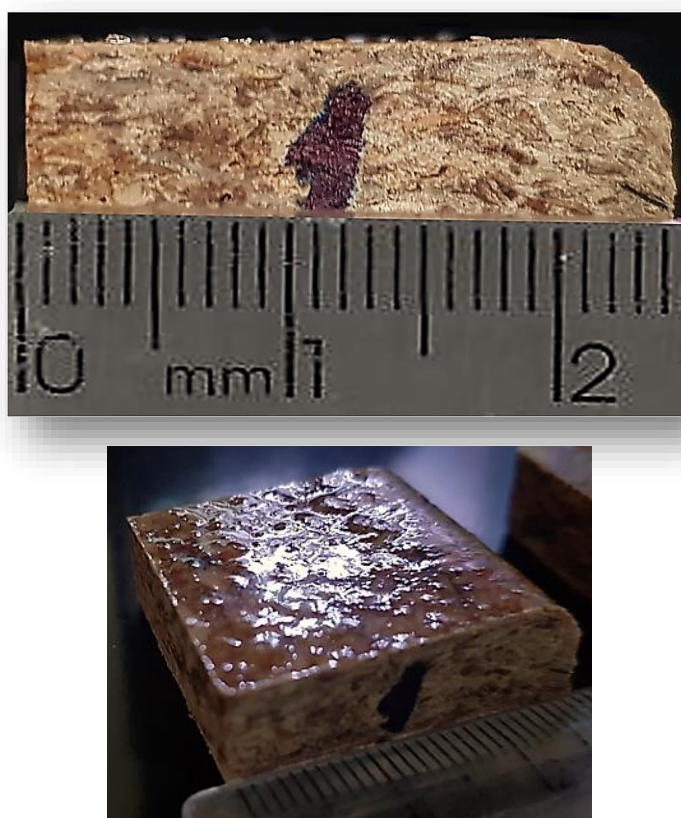


FIGURA 29 – Perfil e Superfície do corpo-de-prova de PPHM M1 utilizado para o ensaio de Reflectância telha revestido com resina de Mamona.

Fonte: autora, 2019



FIGURA 30 – Perfil do corpo-de-prova de PPHM M2 utilizado para o ensaio de Reflectância telha revestido com resina de Mamona.

Fonte: autora, 2019



FIGURA 31 – Perfil e Superfície do corpo-de-prova de PPHM M3 utilizado para o ensaio de Reflectância telha revestido com resina de Mamona.

Fonte: autora, 2019

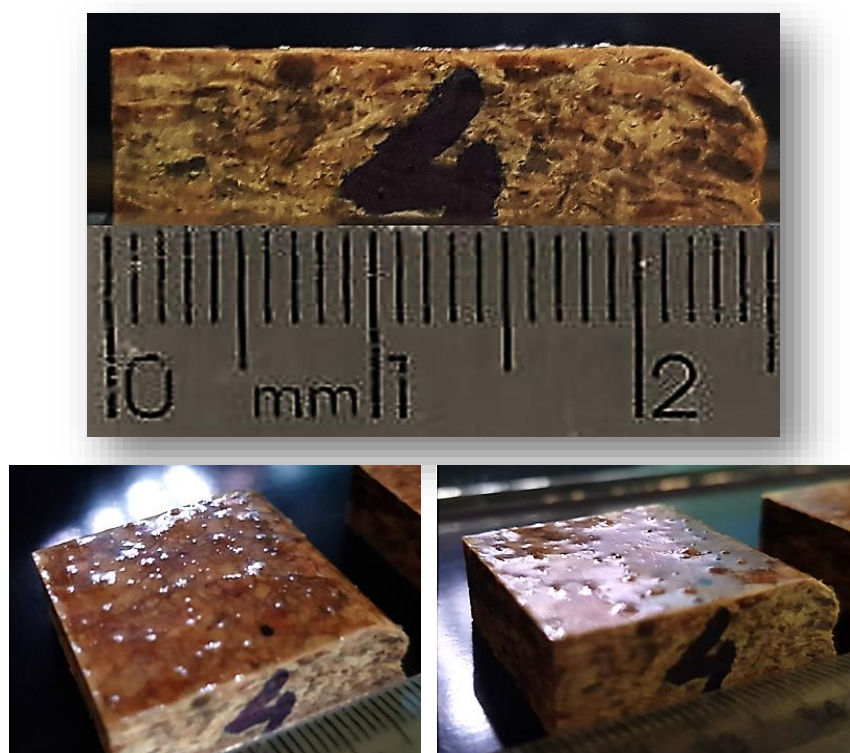


FIGURA 32 – Perfil e Superfície do corpo-de-prova de PPHM M4 utilizado para o ensaio de Reflectância telha revestido com resina de Mamona.

Fonte: autora, 2019



FIGURA 33 – Perfil e Superfície do corpo-de-prova de PPHM M5 utilizado para o ensaio de Reflectância telha revestido com resina de Mamona.

Fonte: autora, 2019

É perceptível, táctil e visualmente, a irregularidade das superfícies. Por mais que os resultados do ensaio de Rugosimetria atendam aos requisitos exigidos, para o ensaio de Reflectância e Absortância este fator influenciou de modo negativo, principalmente na região do espectro do UV. Absorver energia significa que parte desta será transmitida para o interior da habitação.

Analisando os valores dos gráficos e os dados das fotos, o aumento da superfície de contato por causa dos picos, fez com que o feixe de radiação difusa incidente sobre o corpo-de-prova, refletisse de forma indireta nas rugosidades (Figura 34), perdendo energia para a amostra e possivelmente não foi captado pelo fotodetector para formação do espectro. Conseqüentemente, sua absorção foi total.

Os valores de Absortância acima dos 100%, acaba-se por ignorar, pois para estes comprimentos de onda, sua espessura, porosidade e sua rugosidade são mais do que suficiente para absorver a quantidade de energia incidida.

A densidade mais alta e porosidade baixa das telhas PPHM revestidas com Mamona, absorve mais radiação de comprimento de onda menor e, conseqüentemente, frequências maiores (maior energia). Porém, na região do IV (Infravermelho), responsável pelo calor, a telha comportou-se de maneira eficiente.

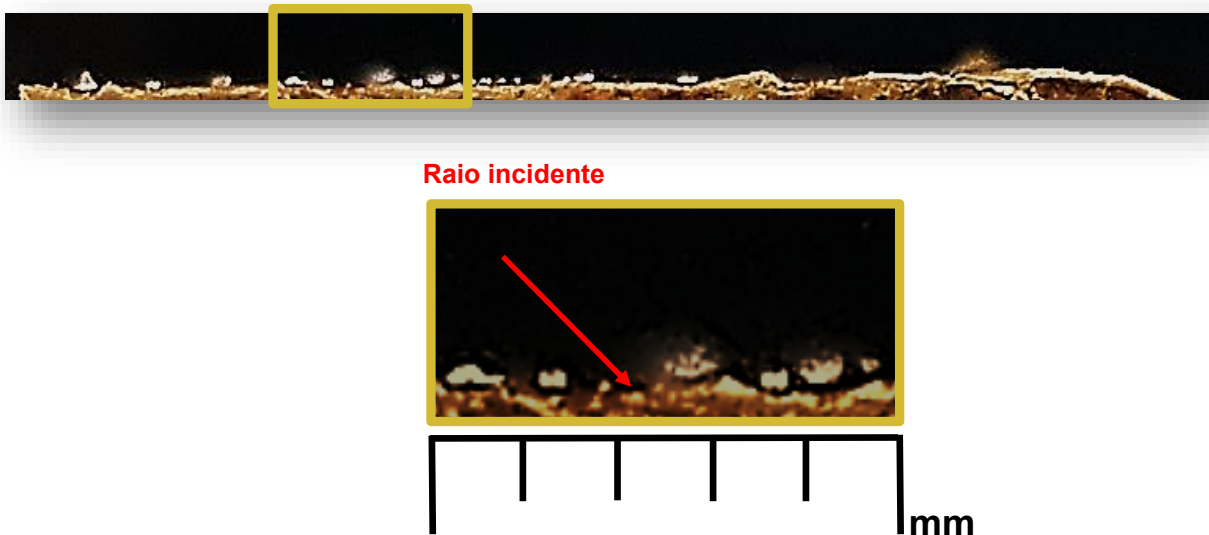


FIGURA 34 – Ampliação da superfície do corpo-de-prova M2, da telha de PPHM revestida com Mamona e detalhe
Fonte: Autora, 2019

De acordo com Roriz (2007), este fenômeno é conhecido como Inter-reflexões da radiação solar incidente, provocadas pela rugosidade da superfície, o que provoca

sucessivas frações de energia absorvida pela superfície, aumentando a sua Absortância.

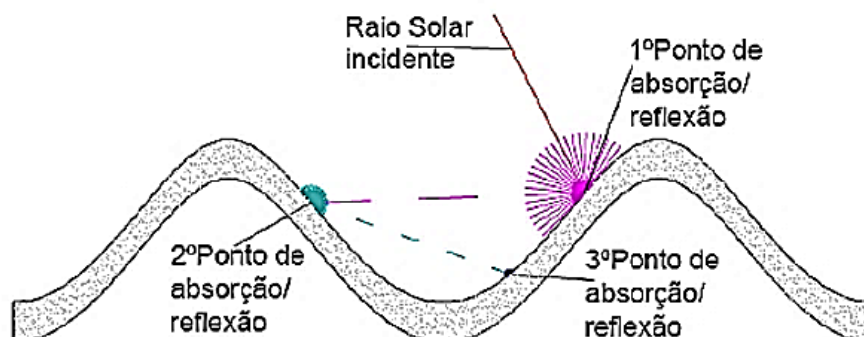


FIGURA 35 – Inter-reflexões ocorridas numa superfície com picos e vales.

Fonte: Roriz, 2007

Dornelles (2008), em seu estudo sobre Absortância, Rugosimetria e Colorimetria sobre 78 amostras de cores e tonalidades de tintas diferentes (acrílica, latex, semi-brilho, fosca) também concluiu que as superfícies revestidas com tintas semi-brilho reagiram mais a rugosidade do que àquelas pintadas com tintas de acabamento fosco. E associou este comportamento ao resultado da Absortância, em que as tintas semi-brilho apresentaram maior Absortância do que as tintas foscas.

Pela dificuldade em se obter dados de absortância à radiação solar da telha produzida, por se tratar de um novo material e que não existe no mercado, para fins de comparação, foram considerados como referência os valores encontrados na Tabela B.2, da NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) e na ASHRAE (2001).

Os resultados estão compilados na Tabela 19, a seguir:

TABELA 19 – Valores de Absortância (α) de superfícies para radiação solar a temperaturas comuns.

Valores mínimos e máximos de Absortância (α)		
PINTURAS E SUPERFÍCIES	ASHRAE (2001)	ABNT (2005b)
Pinturas:		
Escuras	0,85/0,90	x
Médias	x	x
Claras	x	x
Preta	0,85/0,98	0,97
Vermelha	0,65/0,80	0,74
Amarela	0,50/0,70	0,30
Branca	0,23/0,49	0,20
Superfícies:		
Pintura betuminosa	x	0,85/0,98
Concreto aparente	0,65/0,80	0,65/0,80
Tijolo cerâmico vermelho	0,65/0,80	0,65/0,80
Telha de barro vermelha	0,65/0,80	0,75/0,80
Chapa de Alumínio nova	0,40/0,65	0,05
Aço galvanizado novo	0,40/0,65	0,25
Caiação	x	0,12/0,15

Fonte: Adaptado da norma ASHRAE (2001) e da Tabela B.2, da Norma 15220-3 (2005b).

Considerando também, os resultados que Dornelles (2008) encontrou em seu estudo, de cores de tintas das marcas e tipos: **Novacor latéx PVA fosca, Suvinil Latéx PVA fosca, Suvinil acrílica fosca, Metalatéx acrílica fosca, e Metalatéx acrílica semi-brilho.**

Tem-se a Tabela 20, a seguir:

TABELA 20 – Comparação entre os valores médios de (α) Absortância no intervalo do Espectro visível (381 a 760 nm).

Médias dos Valores de (α) Absortância			
Médias deste trabalho		Dornelles (2008)	
	VIS		VIS
Material/revestimento:		Revestimento:	
		Suvinil Latéx PVA fosca	
PPHM/Osmocolor	0,82	Azul profundo	0,83
		Verde musgo	0,84
		Suvinil acrílica fosca	
Telha/cerâmica	0,77	Telha	0,77
PPHM/<i>In Natura</i>	0,78		
		Metalatéx acrílica fosca	
Telha/cerâmica	0,77	Concreto	0,74
PPHM/<i>In Natura</i>	0,78	Tabaco	0,79
PPHM/Mamona	0,86	Azul	0,87
		Metalatéx acrílica semi-brilho	
Telha/cerâmica	0,77	Telha	0,78
PPHM/<i>In Natura</i>	0,78	Cinza	0,85
PPHM/Mamona	0,86	Azul	0,87

Para efeito de comparação foram levados em consideração somente os resultados do intervalo do espectro do visível, já que os dois trabalhos contemplam esta faixa completa. Também se ressalta que para a marca e tipo **Novacor latéx PVA fosca**, não se encontrou nenhum correspondente.

Na Tabela 20, pode-se ver, entre as 78 tintas estudadas por Dornelles (2008) as que mais se aproximam das telhas de PPHM estudadas, caso estas fossem pintadas com estas cores.

Se compararmos aos valores da Tabela 19, a Telha cerâmica e a telha de PPHM *In Natura*, se aproximam da tinta Vermelha, com Absortância entre 0,65 e 0,80 pela norma ASHRAE (2001) e na ABNT (2005b), 0,74. E superfícies de Concreto aparente, Tijolo cerâmico vermelho e Telha de barro vermelha, para as duas normas.

Se analisarmos os valores para a PPHM com Osmocolor, tem-se praticamente os mesmos valores aproximados.

E para PPHM com Mamona, tem-se as tintas escuras, que variam de 0,85 a 0,90. Também a cor Preta, pois esta varia sua Absortância entre 0,85 e 0,98. E para Superfícies, a pintura betuminosa, que varia entre 0,85 e 0,98.

Percebe-se que pelas normas a variação é muito grande, fazendo com que a

comparação das telhas com as tintas que Dornelles (2008) estudou e classificou, muito mais próximas da realidade.

5.2.3. Resultados das Análises qualitativas após Intemperismo Natural

Durante os seis meses de exposição ao intemperismo natural, não houve alterações consideráveis nos painéis fabricados com resíduos *Pinus* sp. tratados com CCB. Houve boa resistência ao tato, boa resistência a manchas, não houve fissuras e ondulação e leve perda de brilho. Observou-se apenas leve desprendimento das partículas e leve empenamento.

Considerando os resultados observados, segundo a classificação de Silva, (2013), as telhas enquadram-se entre as notas de 7,1 a 9,0.

5.2.4. Resultados dos ensaios de Rugosimetria

A Tabela 21 apresenta as Classes de Rugosidade de acordo com a NBR 8404 (ABNT, 1984).

Logo em seguida, na Tabela 22, são apresentados os resultados do ensaio de rugosidade nas Telhas de PPHM impregnadas com Nobile Lasur, da Montana Química Ltda., e revestidas com resina poliuretana à base de óleo de Mamona.

Ressalta-se que os ensaios de Rugosimetria e de Colorimetria não foram realizados nas telhas de PPHM fabricadas para a realização do ensaio de Reflectância difusa, que foram fabricadas posteriormente para a Segunda Etapa. Porém o método de fabricação foram os mesmos das telhas de PPHM produzidas para a Etapa Preliminar.

TABELA 21 – Classes de Rugosidade.

Classe de rugosidade	Rugosidade Ra [μm]	Rugosidade Ra [mm]
N12	50	0,050
N11	25	0,025
N10	12,5	0,0125
N09	6,3	0,0063
N08	3,2	0,0032
N07	1,6	0,0016
N06	0,8	0,0008
N05	0,4	0,0004
N04	0,2	0,0002
N03	0,1	0,0001
N02	0,05	0,00005
N01	0,025	0,000025

TABELA 22 – Valores da rugosidade em função dos tratamentos.

Corpos-de-prova	Valores médios [μm]/[mm]	Cv [%]	Mín [μm]	Máx [μm]
PPHM CCB PU	0,11 / 0,00011	65,34	0,01	0,26
PPHM CCB PU	0,35 / 0,00035	86,42	0,14	1,27
PPHM CCB PU	0,49 / 0,00049	49,41	0,22	1,02
PPHM CCB PU	0,49 / 0,00049	45,14	0,22	0,91
PPHM CCB PU	0,49 / 0,00049	31,30	0,33	0,79
PPHM CCB NL	0,11 / 0,00011	65,34	0,01	0,26
PPHM CCB NL	1,81 / 0,00181	30,38	0,70	2,52
PPHM CCB NL	1,72 / 0,00172	51,05	0,48	3,05
PPHM CCB NL	1,61 / 0,00161	50,75	0,47	2,83
PPHM CCB NL	2,82 / 0,00262	61,09	0,47	6,10

Onde:

Cv é o coeficiente de variação;

1 μm = 10⁻³ mm;

PU = resina Poliuretana; e

NL = Nobile Lasur.

Os resultados mostram que os valores de rugosidade obtidos para os PPHM não ultrapassaram o maior comprimento de amostragem (Ra) apresentado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 8404 (1988), que é de 8 mm.

Com relação as telhas fabricadas com resíduos de *Pinus sp.* impregnados com CCB, revestidos com **Nobile Lasur**, da Montana Química Ltda., os valores de Ra variaram de 0,30 a 1,62 [μm], ou seja, variou entre as classes de rugosidade N05 à N07 da Tabela 21.

Já os valores de rugosidade das telhas fabricadas com resíduos de *Pinus sp.*, tratados com CCB e revestidos com resina poliuretana à base de óleo de **Mamona**,

apresentaram valores de Ra entre 0,10 e 0,38 [μm], correspondendo aos valores da Classificação de Rugosidade entre N03 e N05, de acordo com a Tabela 21.

Ressalta-se que, pelo ineditismo do trabalho, não existe uma padronização no método de aplicação da Resina poliuretana à base de Mamona sobre uma superfície. Neste caso, foi aplicado utilizando-se rolo para pintura, o que pode causar diferenças na quantidade de produto aplicado, e na superfície das telhas, conseqüentemente, alterações nos resultados uma telha para outra.

A telha cerâmica apresenta 4 mm de Planaridade, segundo as especificações da empresa, e está dentro do permitido de 5 mm de acordo com a NBR 15310 (ABNT, 2005). Também não ultrapassa o comprimento da telha, que é de 420 mm.

A rugosidade foi analisada em 3 (três) Telhas cerâmicas, do tipo Romana, do mesmo lote; e os resultados estão na Tabela 23:

TABELA 23 – Rugosidade das telhas cerâmicas ensaiadas.

Corpo-de-prova/Ponto	Rugosidade Ra [μm]	Rugosidade Ra [mm]
T1/P1	0,81	0,00081
T1/P2	0,33	0,00033
T1/P3	0,31	0,00031
T1/P4	0,70	0,00070
T1/P5	1,76	0,00176
Média	0,78	0,00078
T2/P1	0,39	0,00036
T2/P2	0,28	0,00028
T2/P3	0,29	0,00029
T2/P4	0,26	0,00026
T2/P5	0,91	0,00091
Média	0,43	0,00043
T3/P1	0,29	0,00029
T3/P2	0,99	0,00099
T3/P3	0,42	0,00042
T3/P4	0,41	0,00041
T3/P5	0,62	0,00062
Média	0,55	0,00055

Os valores das Telhas cerâmicas variaram entre 0,43 e 0,78 [μm]. Pela classificação de acordo com a NBR 8404 (ABNT, 1984), apresentada na Tabela 23, as telhas analisadas estão entre N05 e N06, de acordo com a Tabela 21. Portanto, a variação de Rugosidade nas telhas cerâmicas foram menores do que as da telha de

PPHM.

5.2.5. Resultados dos ensaios de Colorimetria

Os ensaios de Colorimetria foram realizadas nas Telhas de PPHM, tratadas com CCB impregnadas com Nobile Lasur e revestidas com resina poliuretana à base de Mamona.

As leituras foram feitas uma em cada mês de exposição às intempéries.

Para as telhas fabricadas com resíduos de *Pinus sp.* tratados com CCB e impregnados com **Nobile Lasur**, não ocorreu aumento na variação de L*(preto absoluto). Com relação a*(matiz vermelho), não apresentou variação suficiente para atingir a cor vermelho - esverdeada (-a*). A grande variação do ΔE^* (variação total da cor) com a 1ª leitura de 4,19; e 6ª leitura de 12,74, influenciou também na variação de ΔL que foi considerável.

Já para as telhas fabricadas com resíduos de *Pinus sp.* tratados com CCB e revestidas com resina poliuretana à base de óleo de **Mamona**, ocorreu um aumento na variação de L*(preto absoluto), considerando os resultados entre a 1ª e 6ª leituras. Já para os valores de a*(matiz vermelho), não apresentaram grande variação. A variação de b*(amarela) foi insignificante, consequência do baixo ΔE^* (variação total da cor) que não foi considerável, considerando a 1ª leitura de 2,81; e a 6ª leitura de 5,83.

No caso das telhas cerâmicas, foram realizadas 5 (cinco) leituras, em um mesmo dia, e ao longo do comprimento das 3 (três) telhas. Estas ficaram pouco expostas às intempéries. Os resultados estão na Tabela 24, a seguir:

TABELA 24 – Resultados das leituras de cor nas 3 telhas cerâmicas.

Telha/Ponto de leitura	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
T1/P1	66,24	3,87	26,76	+10,72	-1,80	+8,76	13,96
T1/P2	60,24	24,17	32,91	+4,72	+18,51	+14,91	24,23
T1/P3	60,21	24,22	32,82	+4,69	+18,56	+14,82	24,21
T1/P4	60,02	24,26	32,63	+4,50	+18,59	+14,63	24,09
T1/P5	59,65	24,35	32,67	+4,14	+18,68	+14,67	24,11
T2/P1	60,61	24,22	32,49	+5,10	+18,55	+14,49	24,08
T2/P2	60,53	24,21	32,39	+5,01	+18,55	+14,39	24,00
T2/P3	60,26	24,19	32,07	+4,75	+18,53	+14,07	23,74
T2/P4	60,13	24,27	32,21	+4,62	+18,60	+14,21	23,86
T2/P5	60,01	24,14	32,43	+4,51	+18,47	+14,43	23,88
T3/P1	60,15	24,30	32,25	+4,65	+18,57	+14,14	23,80
T3/P2	60,03	24,01	32,23	+4,52	+18,35	+14,23	23,65
T3/P3	59,66	23,77	31,79	+4,14	+18,10	+13,79	23,13
T3/P4	59,44	23,80	31,63	+3,92	+18,14	+13,63	23,02
T3/P5	59,38	23,98	31,93	+3,87	+18,31	+13,93	23,33

Para a Telha cerâmica 1, ocorreu uma significativa variação de todas as características do sistema, no L*(preto absoluto), em a*(matiz vermelho) e em b*(amarela). Observa-se que na 1ª leitura, a* resultou num matiz vermelho-esverdeada. Consequentemente, resultou em um alto ΔE^* (variação total da cor) que foi considerável, entre a 1ª leitura de 13,96; 2ª até a 5ª leitura de 24,11.

Para as Telhas 2 e 3, a variação dos resultados foram praticamente insignificantes, tanto de L*, de a* e de b*. O que resultou em um baixo ΔE^* , que variou muito pouco entre as 5 leituras.

5.2.6. Resultados da Condutividade térmica

Os valores de condutividade térmica, foram utilizados para encontrar o Atraso térmico da telha, ou seja, quanto tempo as telhas fabricadas com PPHM de *Pinus* sp. tratada com CCB e as Telhas cerâmicas, demoram para transmitir o calor para o interior da edificação.

Ressalta-se que se decidiu por manter a Simulação realizada para encontrar o atraso térmico das telhas, realizada na versão original da tese; que leva em conta dados reais dos corpos-de-prova, mostrados na metodologia, mas utiliza valores de

Condutividade térmica retirados de pesquisas que utilizaram painéis com resíduos e resina poliuretana à base de mamona; e também valores retirados de normas, para buscar resultados mais próximos aos verdadeiros; para fins de comparação com os valores do ensaio.

A Simulação está apresentada no **subitem 5.3**, mais à frente.

Os resultados reais obtidos por meio do ensaio de Condutividade térmica, estão na Tabela 25:

TABELA 25 – Resultados da Condutividade das telhas de PPHM de *Pinus* sp. tratados com CCB e da Telha cerâmica.

Corpo de prova	Densidade [kg/m ²]	Condutividade Térmica [W/m.K]	Resistência térmica [m ² .K/W]	Resistência térmica total [m ² .K/W]	Transmitância térmica [U]	Atraso Térmico [horas]
Cp I1	966,63	0,219	0,044	0,25	3,945	1,69
Cp I2	942,61	0,225	0,045	0,25	3,929	1,71
Cp I3	990,34	0,224	0,043	0,25	3,949	1,72
Cp I4	936,05	0,215	0,046	0,26	3,908	1,70
Cp I5	951,43	0,228	0,043	0,25	3,958	1,69
Média					3,94	1,70
Cp 1	1056,38	0,229	0,043	0,25	3,961	1,78
Cp 2	978,75	0,233	0,043	0,25	3,954	1,74
Cp 3	898,42	0,213	0,047	0,26	3,896	1,67
Cp 4	1013,05	0,247	0,040	0,25	4,007	1,74
Cp 5	996,98	0,229	0,044	0,25	3,944	1,75
Média					3,95	1,74
CpM1	912,15	0,199	0,049	0,26	3,867	1,67
CpM2	972,52	0,238	0,043	0,25	3,950	1,76
CpM3	1008,65	0,221	0,043	0,25	3,947	1,73
CpM4	1013,86	0,221	0,045	0,25	3,929	1,76
CpM5	963,34	0,215	0,044	0,25	3,933	1,69
Média					3,93	1,72
CpT1	1956,66	0,377	0,032	0,24	4,137	1,66
CpT2	1961,32	0,338	0,035	0,24	4,087	1,66
CpT3	1980,46	0,280	0,043	0,25	3,954	1,71
CpT4	1841,04	0,387	0,032	0,24	4,138	1,63
CpT5	1930,60	0,411	0,030	0,24	4,173	1,66
Média					4,10	1,66

As Absortâncias médias totais das telhas de PPHM *In Natura*, com Osmocolor, com Mamona e da Cerâmica, resultantes do ensaio de Absortância, foram respectivamente: 0,78; 0,81; 0,85; e 0,76.

De acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2013), para a cidade de São Carlos, o Desempenho térmico **mínimo** das coberturas da Zona bioclimática 4, a qual a cidade

pertence, deve apresentar Transmitância térmica $[U] \leq 1,5$ se a Absortância for $> 0,6$. Portanto, concluiu-se que:

- Os valores das Transmitâncias térmicas de todas as telhas, de PPHM e da cerâmica, são superiores a $1,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$., considerados insatisfatórios de acordo com NBR 15220-3 (ABNT, 2005b);
- As Telhas de PPHM *In Natura*, com Osmocolor, com Mamona e as telhas cerâmicas, apresentam atraso térmico médio de: 1,70 horas; 1,74 horas; 1,72 Horas; e 1,66 horas, respectivamente. Convertendo para horas, minutos e segundos, tem-se: 0h 54' 36"; 0h 43' 12"; 0h 43' 12"; e 0h 37' 12";
- Mesmo não satisfazendo os valores de Transmitância térmica e Absortância, os Atrasos térmicos das telhas de PPHM são maiores se comparados aos da telha cerâmica; e
- Uma alternativa para aumentar o Atraso térmico e também a Absortância é aumentar a espessura da telha e/ou também fazer composição com outros materiais isolantes. O que mostra as simulações no **subitem 5.3**.

Considerando a transmitância térmica para as telhas ensaiadas e a Absortância à radiação solar, $\alpha > 0,6$ (pois nenhum dos valores calculados para Absortância das telhas foi inferior a 0,6), segundo os requisitos da NBR 15575, tem-se:

- As Telhas PPHM *In Natura*, com transmitância $U = 1,70 \text{ [W/m}^2.\text{K}]$ e $\alpha > 0,6$, podem ser aplicadas nas zonas 1 e 2, com desempenho mínimo;
- As Telha PPHM impregnadas com Osmocolor, com transmitância $U = 1,74 \text{ [W/m}^2.\text{K}]$ e $\alpha > 0,6$, podem ser aplicadas nas zonas 1 e 2, com desempenho mínimo;
- As Telhas revestidas com resina poliuretana à base de óleo de Mamona, com transmitância $U = 1,72 \text{ [W/m}^2.\text{K}]$ e $\alpha > 0,6$, podem ser aplicadas nas zonas 1 e 2, com desempenho mínimo.
- As Telhas cerâmicas do tipo Romana, com transmitância $U = 1,66 \text{ [W/m}^2.\text{K}]$ e $\alpha > 0,6$, podem ser aplicadas nas zonas 1 e 2, com desempenho mínimo.

Portanto, nenhuma das telhas possui desempenho para ser aplicada na Zona bioclimática 4, da Cidade de São Carlos, no estado de São Paulo, pois

com Absortância, $\alpha > 0,6$, a Transmitância [U] teria que ser $\leq 1,5 [W/m^2.K]$.

5.3. Simulação

Como já descrito anteriormente, os ensaios de Condutividade térmica das telhas de PPHM e da Telha cerâmica do tipo Romana, não foram calculados a tempo, para fim de comparação do resultado de transmitância e atraso térmico real, com a simulação realizada com dados retirados de normas e empresas de comercialização de telhas cerâmicas.

Portanto, os resultados obtidos dos atrasos térmicos, foram analisados mediante a simulação com dados de Condutividade térmica da Tabela B.3 da NBR 15.220 – 2 para Telha PPHM com Aglomerados de partículas de madeira (0,17 W/m.K); e da Tabela D.2, da NBR 15.220 – 3 para Telha Cerâmica (1,05 W/m.K). Com densidade aproximadas de 750 kg/m^3 para as telhas de PPHM; e 2000 kg/m^3 , para as telhas cerâmicas.

Também se levou em consideração os resultados dos ensaios realizados por Bueno (2015), para encontrar a Condutividade térmica para os Painéis de Partículas fabricados com resíduos lignocelulósicos e resina poliuretana à base de óleo de Mamona, e os resultados variaram entre 0,14 W/m.K e 0,176 W/m.K, com densidade média variando entre 534 Kg/m^3 e 716 Kg/m^3 , respectivamente.

Considerando as Condutividades térmicas anteriores, foram realizados os cálculos para os corpos-de-prova deste trabalho. E os resultados encontrados para o atraso térmico, estão descritos na Tabela 26, a seguir:

TABELA 26 – Resultado do Atraso térmico simulado para as telhas de PPHM de *Pinus* sp. tratadas com CCB e da Telha cerâmica.

Corpo de prova	Densidade real [kg/m ²]	Condutividade Térmica (dados) [W/m.K]	Resistência térmica [m ² .K/W]	Resistência térmica total [m ² .K/W]	Transmitância térmica [U]	Atraso Térmico simulado [horas]
Cp I1	519,91	0,17	0,10	0,31	3,18	1,88
Cp I2	516,12	0,17	0,11	0,11	3,15	1,91
Cp I3	568,26	0,17	0,10	0,10	3,24	1,90
Cp I4	545,70	0,17	0,10	0,31	3,23	1,87
Cp I5	488,00	0,17	0,11	0,32	3,11	1,91
Média						1,89
Cp O1	708,87	0,17	0,09	0,30	3,39	1,93
Cp O2	571,37	0,17	0,10	0,31	3,22	1,93
Cp O3	596,55	0,17	0,09	0,30	3,36	1,80
Cp O4	550,78	0,17	0,11	0,32	3,17	1,95
Cp O5	591,20	0,17	0,10	0,31	3,24	1,94
Média						1,91
CpM1	497,21	0,17	0,10	0,31	3,18	1,84
CpM2	554,88	0,17	0,11	0,32	3,17	1,96
CpM3	593,91	0,17	0,10	0,31	3,27	1,90
CpM4	580,02	0,17	0,10	0,31	3,21	1,95
CpM5	560,23	0,17	0,10	0,31	3,27	1,85
Média						1,90
CpT1	2087,68	1,05	0,01	0,22	4,53	1,59
CpT2	2070,87	1,05	0,01	0,22	4,53	1,57
CpT3	2034,63	1,05	0,01	0,22	4,52	1,60
CpT4	2255,27	1,05	0,01	0,22	4,56	1,56
CpT5	2097,81	1,05	0,01	0,22	4,53	1,59
Média						1,58

Onde:

Resistência térmica total [m².K/W] é a soma da Resistência do material com os valores da Tabela 27.

TABELA 27 – Valores da Resistência superficial externa e interna do ar, considerando fluxo descendente.

Rse descendente	Rsi descendente
0,04	0,17

Fonte: adaptado Tabela A.1, da Norma 15220 (ABNT, 2005).

Nota: O fluxo descendente foi adotado, pois é o caso mais extremo em coberturas.

As Absortâncias médias totais das telhas de PPHM *In Natura*, com Osmocolor, com Mamona e da Cerâmica, resultantes do ensaio de Absortância, foram respectivamente: 0,78; 0,81; 0,85; e 0,76.

De acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2013), para a cidade de São Carlos, o Desempenho térmico **mínimo** das coberturas da zona bioclimática 4, a qual a cidade

pertence, deve apresentar Transmitância térmica $[U] \leq 1,5$ se a Absortância for $> 0,6$.

Portanto:

- Os valores das Transmitâncias térmicas de todas as telhas, de PPHM e cerâmica, são superiores a $1,5 \text{ W/m}^2\text{.K.}$, considerado insatisfatório de acordo com NBR 15220-3 (ABNT, 2005b);
- As Telhas de PPHM *In Natura*, com Osmocolor, com Mamona e as telhas cerâmicas, apresentam atraso térmico médio de: 1,89 horas; 1,91 horas; 1,90 Horas; e 1,58 horas, respectivamente. Convertendo para horas, minutos e segundos, tem-se: 1h 53' 24"; 1h 54' 36"; 1h 54'; e 1h 34' 48";
- Mesmo não satisfazendo os valores de Transmitância térmica e Absortância, o Atraso térmico das telhas de PPHM são maiores se comparados aos da telha cerâmica.

Já para a Simulação entre as combinações de materiais com a Telha de PPHM, foram considerados: Ar, Lã de Rocha, Forro de madeira de 1 cm de espessura e EPS (Poliestireno).

Os dados utilizados para forro de madeira e cerâmica foram retirados da Tabela B.3, NBR 15220 – 2 e Tabela D.2, NBR 15220 – 3 (ABNT, 2005). Já para Lã de Rocha e EPS os dados utilizados foram do ProtoLab (Laboratório de propriedades termo físicas, 2019) e Portal AECweb (Arquitetura, Engenharia e Construção, 2019).

Para testar a possibilidade de aumentar o atraso térmico realizando combinações entre as Telhas de PPHM e outros matérias isolantes, foi realizada uma simulação, demonstrada nas Tabelas (28 e 29) a seguir:

TABELA 28 – Simulação de propriedades térmicas da telha de resíduos de madeira, com base em dados obtidos de normas e empresas.

Material	Massa [Kg]	Volume [m ³]	Espessura [m]	Densidade [Kg/m ³]	Condutividade Térmica [W/m.k]	Calor específico [KJ/Kg.K]	Resistência térmica [Rt de cada componente] [m ² .k/W]
Telha	0,7200	0,00096	0,012	750,00	0,1700	2,3000	0,070588
Ar	0,0048	0,00400	0,050	1,20	0,0230	1,0000	0,180000
Lã	0,1920	0,00400	0,050	48,00	0,0450	0,7500	1,111111
Forro	0,1920	0,00027	0,010	710,00	0,2300	1,3400	0,043478
EPS	0,0480	0,00400	0,050	12,00	0,0350	0,0420	1,428571
Ceram.	1,2800	0,00080	0,010	1600,00	0,7000	0,9200	0,014286
Telha 1	1,2800	0,00080	0,010	1600,00	0,1700	2,3000	0,058824

Onde:

(ρ) Densidade da lã de rocha; (λ) Condutividade térmica; e (c) Calor específico.

Baseados nos dados anteriores da Tabela 28, pôde-se determinar as propriedades térmicas, listadas no item que trata sobre Materiais e Métodos para a telha PPHM fabricada, assim como, para componentes combinados descritos a seguir, na Tabela 29:

TABELA 29 – Resultados da simulação das propriedades térmicas da telha combinada com outros elementos isolantes.

Material	RT=Rse+Rt+Rsi	Transmitância térmica [U]	Atraso Térmico (vários componentes)
Telha/Ar/Telha	0,53	1,88	2,14 / 2h 8' 24"
Telha/Ar/Telha/Forro	0,58	1,74	2,55 / 2h 33'
Telha/EPS/Telha	1,43	0,70	3,82 / 3h 49' 12"
Telha/Lã de rocha/Telha	1,46	0,68	3,49 / 3h 29' 24"
Telha/Lã/Telha/Forro	1,51	0,66	4,23 / 4h 13' 48"
			Atraso térmico do material
Telha PPHM	0,071	3,56	1,76 / 1h 45' 36"
Cerâmica	0,014	4,46	1,33 / 1h 19' 48"
Telha PPHM 1	0,269	3,72	2,29 / 2h 17' 24"

Nota: A norma não coloca requisitos mínimos quanto a CT (capacidade térmica) para elementos de cobertura. Mas cita a Absortância à radiação solar.

Onde: Rse e Rsi são Valores da Resistência superficial externa e interna do ar, considerando fluxo descendente, retirados da Tabela A.1, da Norma 15220 (ABNT, 2003). RT é a resistência total. O Atraso térmico (ϕ) é dado em hora (h).

Com relação as propriedades térmicas simuladas das Telhas de PPHM e Telha cerâmica, pode-se concluir que:

- Percebe-se pela Tabela 29, que o atraso térmico da telha de PPHM simulada e da cerâmica também simulada, a Telha de PPHM possui atraso maior. Caso a Telha de PPHM tivesse a mesma densidade da Telha cerâmica 1600 kg/m³, com 10 mm de espessura, o atraso térmico da Telha seria de 2,29 h, ou seja, 2h 17' 24", quase o dobro da Telha cerâmica (pode-se conferir nas Tabelas 28 e 29);
- Considerando a Telha fabricada com painel de resíduos de madeira, o valor de transmitância é superior a 1,5 W/m².K., considerado insatisfatório para a

região bioclimática 4, de São Carlos, de acordo com NBR 15220 – 3, assim como a telha cerâmica comum;

Considerando o desempenho térmico para os componentes combinados e a Absortância à radiação solar com $\alpha > 0,6$ (pois nenhum dos valores calculados para Absortância das telhas foi inferior a 0,6) e de acordo com os requisitos da NBR 15575), tem-se:

- O componente Telha PPHM – Ar – Telha PPHM, com transmitância $U = 1,88 [W/m^2.K]$ e $\alpha > 0,6$ pode ser aplicado nas zonas 1 e 2, com desempenho mínimo;
- O componente Telha PPHM – Ar – Telha PPHM – Forro de madeira, com transmitância $U = 1,74 [W/m^2.K]$ e $\alpha > 0,6$ pode ser aplicado nas zonas 1 e 2, com desempenho mínimo;
- O componente Telha PPHM – EPS – Telha PPHM, com transmitância $U = 0,70 [W/m^2.K]$ e $\alpha > 0,6$ pode ser aplicado nas zonas 1 e 2, com desempenho mínimo, intermediário e superior. E nas zonas 3, 4, 5 e 6, com desempenho mínimo e intermediário;
- O componente Telha PPHM – Lã de rocha – Telha PPHM, com transmitância $U = 0,68 [W/m^2.K]$ e $\alpha > 0,6$ pode ser aplicado nas zonas 1 e 2, com desempenho mínimo, intermediário e superior. Já para as zonas bioclimáticas 3, 4, 5, 6, 7 e 8; com desempenho mínimo e intermediário;
- O componente Telha PPHM – Lã de rocha – Telha PPHM – Forro de madeira, com transmitância $U = 0,66 [W/m^2.K]$ e $\alpha > 0,6$ pode ser aplicado nas zonas 1 e 2 com desempenho mínimo, intermediário e superior. Já para as zonas bioclimáticas 3, 4, 5, 6, 7 e 8; com desempenho mínimo e intermediário.

5.4. Comparação entre os resultados reais e simulados do Atraso térmico

As Absortâncias médias totais das telhas de PPHM *In Natura*, com Osmocolor, com Mamona e da Cerâmica, resultados do ensaio de Absortância, foram

respectivamente: 0,78; 0,81; 0,85; e 0,76.

De acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2013), para a cidade de São Carlos, o Desempenho térmico **mínimo** das coberturas da Zona bioclimática 4, a qual a cidade de São Carlos pertence, deve apresentar Transmitância térmica $[U] \leq 1,5 [W/m^2.K.]$ se a Absortância for $> 0,6$.

Portanto, concluiu-se que:

- Os valores das Transmitâncias térmicas de todas as telhas, de PPHM e da cerâmica, são superiores a $1,5 [W/m^2.K.]$, considerados insatisfatórios de acordo com NBR 15220-3 (ABNT, 2005b);
- As Telhas de PPHM *In Natura*, com Osmocolor, com Mamona e as telhas cerâmicas, apresentam atraso térmico médio de: 0h 54' 36"; 0h 43' 12"; 0h 43' 12"; e 0h 37' 12";
- Já na Simulação, as Telhas apresentam atraso térmico médio de: 1h 53' 24"; 1h 54' 36"; 1h 54'; e 1h 34' 48", devido os valores de referência para o cálculo da Condutividade serem menores dos que os reais;
- Mesmo não satisfazendo os valores de Transmitância térmica e Absortância, o Atraso térmico das telhas de PPHM são maiores se comparados aos da telha cerâmica; e
- Uma alternativa para aumentar o Atraso térmico e também a Absortância é aumentar a espessura da telha e também fazer composição com outros materiais.

Zonas bioclimáticas em que podem ser aplicadas:

- As Telhas PPHM *In Natura*, com transmitância $U = 1,70 [W/m^2.K.]$, as Telha PPHM impregnadas com Osmocolor, com transmitância $U = 1,74 [W/m^2.K.]$, as Telhas revestidas com resina poliuretana à base de óleo de Mamona, com transmitância $U = 1,72 [W/m^2.K.]$, e as Telhas cerâmicas do tipo Romana, com transmitância $U = 1,66 [W/m^2.K.]$, e todas com $\alpha > 0,6$, só podem ser aplicadas nas zonas 1 e 2, com desempenho mínimo.

Portanto, nenhuma das telhas possui desempenho para ser aplicada na Zona

bioclimática 4, da Cidade de São Carlos, no estado de São Paulo, pois com Absortância, $\alpha > 0,6$, a Transmitância [U] teria que ser $\leq 1,5 [W/m^2.K]$.

Também na Simulação, as telhas de PPHM e as telhas cerâmicas não apresentam os quesitos de desempenho exigido pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013), para aplicação na Zona Bioclimática 4.

A Simulação mostrou que ao aumentar as camadas das telhas, sua espessura e/ou combiná-las com outros elementos isolantes fez a Transmitância da Telha diminuir, e conseqüentemente aumentar seu atraso térmico. Estes quesitos também ampliam a possibilidade de aplicação das Telhas em outras zonas Bioclimáticas do Brasil, inclusive na qual a cidade de São Carlos pertence.

6 CONCLUSÕES

Dado o ineditismo do trabalho, não há como comparar os resultados obtidos, com mesmo tema, disponíveis nas bibliografias.

Concluiu-se que as telhas de PPHM fabricadas com resíduos de *Pinus* sp. tratados com CCB apresentam condições favoráveis para uso externo, dados os resultados obtidos na experimentação conduzida.

Para aplicação como telha, as de PPHM apresentam vantagem em relação às telhas cerâmicas, por serem mais leves, considerando as mesmas dimensões.

Os ensaios realizados após intemperismo natural mostraram que os painéis apresentaram os valores compatíveis aos requisitos da NBR 14.810-2: 2013, superando-os em vários casos.

Dentre os métodos disponíveis para a realização do ensaio de Absortância, o Espectrofotômetro foi o mais preciso e o mais assertivo. Permite que se escolha a região do espectro solar para se fazer as medições. Sua desvantagem é ser um equipamento de custo muito alto, acessível neste caso, somente com a parceria com a UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos.

As análises para variação de cor e de rugosidade mostram os melhores resultados para as telhas de PPHM revestidas com resina poliuretana à base de óleo de mamona.

Porém, estas mesmas telhas, por não se apresentarem regulares em suas superfícies, pelo revestimento, não se mostraram eficientes nos resultados de Absortância para as ondas menores do espectro solar, como visto nas Figuras (29 a 33).

Em compensação a superfície brilhante ajudou a refletir a radiação diminuindo o ganho de calor e a sua transmissão para o interior da edificação por meio das telhas.

Considerando os resultados de Atraso térmico os resultados das Telhas de PPHM tiveram pouca variação entre elas, mas melhores do que os da Telha cerâmica.

Portanto, entende-se que os resultados analisados foram compatíveis com as hipóteses iniciais do trabalho e sugerem futuros aperfeiçoamentos na espessura, combinações com outros elementos isolantes e no revestimento da Telha de PPHM.

6.1. SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

Em relação à região do espectro escolhido para medição, esta poderia ser um pouco mais ampla, considerando mais o intervalo do infravermelho (calor), já os gráficos das Reflectâncias, de todos os corpos-de-prova, mostraram que as PPHM continuam a subir até o ponto escolhido para término de medição, 800 nm;

Também sugere o uso do PPHM de telha em combinação com outros componentes, como feito na simulação. Quanto mais camadas, mais aumenta a resistência a passagem de calor e diminui a transmitância térmica, portanto, demora mais para que o calor seja conduzido para o interior de uma edificação;

Uma composição interessante, que serve para sugestão de futuras pesquisas, é calcular o atraso térmico da Telha de PPHM combinada com a caixa de Tetra Pak, que são elementos reaproveitáveis;

Para obter resultados mais precisos, principalmente de Rugosimetria, uma solução é aplicar a resina poliuretana de óleo de Mamona mais diluída, de modo que consiga penetrar mais profundamente entre as partículas e preencher os espaços entre elas. Desta maneira, as telhas de PPHM passam a ter as superfícies menos rugosas.

Outra alternativa seria testar outros métodos de aplicação da resina, de modo a não formar rugosidades e criar uma padronização de aplicação.

Ressalta-se a importância de aumentar as pesquisas para criar um padrão solar voltado para as regiões bioclimáticas no Brasil, a partir condições atmosféricas, climáticas locais, para que possa ser calculado a quantidade de radiação difundida, absorvida real para o país.

REFERÊNCIAS

ART PINE. **Art Shingle – Telha de Madeira**. Disponível em:

<<http://www.artpine.com.br/manuais/ArtShingle.pdf>>. Acesso em 4 set 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 14.810**. *Chapas de madeira aglomerada*. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **ABNT 14.810-3**. *Chapas de madeira aglomerada. Métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **ABNT 15.310**. *Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **ABNT 15.220-1**. *Desempenho térmico de edificações – parte 1: definições, símbolos e unidades*. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **ABNT 15.220-3**. *Desempenho térmico de edificações – parte 3: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações*. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **ABNT 15.575**. *Edificações Habitacionais - Desempenho*. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **ABNT 6.405**. *Rugosidade das superfícies - Procedimentos*. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **ABNT 8404**: *Indicação do Estado de Superfícies em Desenhos técnicos – Procedimento*. Rio de Janeiro, 1984.

AMERICAN NATIONAL STANDARD - ANSI/A. *Mat-formed wood particleboard: specification*. **ANSI/A 208.1 - 1993**. Gaithersburg: National Particleboards Association, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 903:2012**. *Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres*. Philadelphia: ADTM, 2012.

_____. **ASTM E 1530:2011**. *Evaluating the Resistance to Thermal Transmission of Materials by the Guarded Heat Flow Meter Technique*. West Conshohocken, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM: D-1037: 2006**. *Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials*. Philadelphia, 2006.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE fundamentals handbook**. Atlanta, 2001.

BERTOLINI, M. S.. **Emprego de Resíduos de Pinus SP tratado com preservante CCB na Produção de Chapas de Partículas Homogêneas utilizando Resina Poliuretana a base de Mamona**. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2011. 126p.

BIOMASSA BR. Os resíduos de madeira gerados anualmente no Brasil são estimados em 30 milhões de toneladas. **Revista Biomassa Bioenergia**. Edição 13, ano 5, nº1/2016 Disponível em:
<<https://www.biomassabioenergia.com.br/imprensa/os-residuos-de-madeira-gerados-anualmente-no-brasil-sao-estimados-em-30-milhoes/20160211-103419-x618>>.
Acesso em: 14 nov 2017.

BUENO, S. B.. **Chapas de partículas multimarcas com resíduos lignocelulósicos e resina PU de mamona**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de alimentos – Universidade de São Paulo, Pirassununga, São Paulo, 2015. 88 f.

CABRAL, M. R. et al (2017). *Painéis de partículas com maravalha de Pinus spp. e fibra de sisal*. **Scientia Florestalis**, v. 45, nº 114, p. 353 – 362, junho de 2017.
DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n114.11](https://doi.org/10.18671/scifor.v45n114.11).

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. (2001). **A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira**. *Brasil Florestal*, n. 71, p. 30-41, set. 2001. Disponível em:
<<http://www.ibama.gov.br/ojs/index.php/braflor/article/viewFile/60/58>> . Acesso em: 18 abril 2019.

CAMPOS, C. I., LAHR, F. A. R.. *Estudo comparativo dos resultados de ensaio de tração perpendicular para MDF produzido em laboratório com fibras de pinus e de eucalipto utilizando ureia-formaldeído*. **Revista Matéria**. Rio de Janeiro, 2004, 9 (1): p. 32 – 34.

CARAM, R. M. **Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com conforto ambiental em edificações**. 1998. 196p. Tese (Doutorado em

Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1998.

CATÁLOGO KONICA MINOLTA. Disponível em <
http://sensing.konicaminolta.com.br/products/cr-400-410-chroma-meter-difference-with-colorimeter/support/cr400_catalog_BR.pdf>. Acesso em: 22 jul 2019.

COMMERCIAL STANDARD.**CS 236-66: *mat formed wood particleboard***. Geneva, 1968.

COUTINHO, A. L. M.. **Telhados de Edificações Habitacionais**. Trabalho de Conclusão – Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Tecnologia do Curso de Engenharia Civil, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2018. p. 128.

DACOSTA, L P E; Haselein, C R; Santini, E J; Schneider, P R; Calegari, L. *Qualidades das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos de processamento mecânico da madeira de Pinus elliotii (Engelm.)*. **Ciência Florestal**. 2005; 15 (003): 311-322.

DIAS, F. M.. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada**. Produtos Derivados da Madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no LaMEM-SET-EESC-USP. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. P. 73-92.

DORNELLES, K. A.. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, São Paulo, 2008. 160 p.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. Second edition. Wiley-Interscience: New York, 1991.

EDIFICARJr.. Empresa Júnior do Curso da Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). **Os diferentes tipos de telhas encontradas no mercado**. Disponível em <<https://www.edificarjr.ufscar.br/tipos-de-telha-encontrados-no-mercado/>>. Acesso em: 1 mar 2018.

EQUIPE JORNALÍSTICA DA REVISTA DA MADEIRA. *Tecnologia amplia possibilidades de usos*. **REMADE – Revista da Madeira**. Edição 109, 2007. 6p. Artigo técnico. Disponível em:
<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1187&subject=Preservantes&title=Tecnologia%20amplia%20possibilidades%20de%20usos%3Cb%3>

[E%3C/b%3E>](#). Acesso em: 15 out 2015.

FERREIRA, Marcos David; e SPRICIGO, Poliana Cristina. **Instrumentação Pós-colheita em Frutas e Hortaliças**. Parte 4 – Análises não destrutivas. Capítulo 1 – Colorimetria - princípios e aplicações na agricultura., p 205 – 220. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170416/1/Parte-4-cap-1-Colorimetria-....pdf>>. Acesso em: 11 set 2019

Fiorelli, J., et al (2015). *Painéis de monocamadas fabricados com resíduo de madeira e fibra de coco verde*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 175 – 182, março 2015.

GUIDE VARIAN CARY WINUV HELP. **Diffuse Reflectance Accessory (Internal)**. Disponível em <<https://manualzz.com/doc/747845/mantis-5000-specifications>>. Acesso em: 22 jul 2019.

HABITARE. *Utilização de Resíduos na construção Habitacional. Chapas de madeira aglomerada: métodos de ensaio*. Rio de Janeiro. 33 p.

HILDEBRANDT, E.; BOS, W.; MOORE, R. **Assessing the impacts of white roofs on building energy loads**. ASHRAE Technical Data Bulletin, v. 14, n. 2, 1998.
HIRATA, Ronaldo (2008). **Avaliação da Refletância, Transmitância direta e Fluorescência de Resinas Compostas**. Tese (doutorado). Centro Biomédico, Faculdade de Odontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. 115f.

IBÀ – Indústria brasileira de árvores. **Relatório anual de 2017**. Disponível em <https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf> . Acesso em: 1 mar 2018.

JACOBSON, Mark & HOEVE, John. (2012). *Effects of Urban Surfaces and white Roofs on Global and Regional Climate*. **Journal of Climate**. 25. 1028 – 1044. 10.1175/JCLI – D – 11 – 00032.1.

KASKA – Madeiras ecológicas. **Taubilha de madeira**. Disponível em: <<http://www.kaskamadeira.com.br/produtos/taubilha-telha-de-madeira>>. Acesso em 4 set 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LAMBERTS, R.. *Desempenho Térmico de Edificações*. Aula 5: Orientação e Diagrama Solar. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. p. 61. Disponível em: < <https://www.labeeee.ufsc.br>> . Acesso em: 15 nov 2018.

LEÃO, A. C.; ARAÚJO, A. A, SOUZA, L. A. C. **Implementação de sistema de gerenciamento de cores para imagens digitais**. In: TEIXEIRA, A.; BARRÉRE, E. ABRÃO, I. C. Web e multimídia: desafios e soluções. Poços de Caldas: PUC-Minas, 2005. MÜLLER, U. et al. Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV irradiation. *Journal of Photochemistry Photobiology B: Biology*, Lausanne, v. 69, n. 2, p. 97 – 105, 2003.

LOPES, L. C.. **Capítulo 2 – Fundamentos da Colorimetria**. p. 19 – 58. PUC Rio – Certificação Digital nº 0621484/CA. Disponível em <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0621484_09_cap_02.pdf>. Acesso em: 15 out 2019.

MANUAL DRA (2019). **User guide for Cary 5000 absorption spectrometer with external DRA (Diffuse Reflectance Accessory) 1800 attachment**. Disponível em: < https://mmrc.caltech.edu/Cary%20UV-Vis%20Int.Sphere/manuals/Cary5000_User_Guide.pdf>. Acesso em: 20 set 2019.

MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação**. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1991.

MONTANA QUÍMICA Ltda (2019). Disponível em < <https://montana.com.br/>> . Acesso em: 20 ago 2019.

MRL – Centre for Microanalysis of materials laser and spectroscopy facility. **Varian Cary 5G Operation Instructions**. Disponível em: < <https://manualzz.com/doc/11302311/varian-cary-5g-spectrophotometer-operation-instructions>>. Acesso em: 22 jul 2019.

MURARA JR, M. I.; Rocha, M. P.; Timofeiczuk Jr, R.. *Rendimento em madeira serrada de Pinus para desdobro*. **REMADE – Revista da Madeira**. Curitiba, Setembro. Edição especial, 2006. p. 86-92.

MURARA JR., M. I.; Rocha, M. P.; Trugilho, P. F.. *Estimativa do Rendimento em Madeira Serrada de Pinus para Duas Metodologias de Desdobro*. **FLORAM – Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v. 20, n. 4. p. 556 – 563, 2013.

NASCIMENTO, M. F.. **CPH – Chapas de Partículas Homogêneas – Madeiras do Nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2003. 134p.

NASCIMENTO, M. F. (2016). *Desempenho de Painéis de Partículas Produzidos com Resíduos de Madeira Tratada Submetidos a Intemperismo Natural e Artificial*. Relatório Final de Pós Doutorado Sênior CNPq. Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, SP. 59 p.

NASCIMENTO, M. F. et al. *Painéis de Partículas Homogêneas Fabricados Com Resíduos Lignocelulósicos e Resina Alternativa para Aplicação em Pisos*. **Scientia Forestalis**, v. 44, p. 1 – 8, 2016.

Non-Conventional Building Materials. E-book. Francisco Antonio Rocco Lahr, Holmer Savastano Junior, Juliano Fiorelli (Orgs.) – Bauru, SP: Tiliform, 2015. 328 p. Primeira edição.

OLESON, Keith & BONAN, G. & FEDDEMA, Johannes (2010). *Effects of white roofs on urban temperature in a global climate model*. **Geophysical Research Letters**. 37. 10.1029/2009gl042194.

PAZETTO, V. M. F.. **Efeito de espessura e do vão sobre deformação em flexão de painéis de madeira utilizados na produção de móveis**. 2009. 60f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

PEREIRA, C. D.; Marinovski, D. L.; Lamberts, R.; Güths, S.; Ghisi, E.. (2015). **Guia de medição e cálculo para refletância e absortância solar em superfícies opacas**. CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis maio 2015, v.1 p. 27.

PEREIRA, C. D. **Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico de edificações**. Tese (doutorado), Programa de Pós em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2014. 185 p.

POLETO, S. F. S. *et al.* (2013). **Produção de Painéis de Partículas Homogêneas (PPH) utilizando resíduos de Espécies de Reflorestamento**. In: Francisco Antonio Rocco Lahr e André Luís Christoforo. (Org.). *Painéis de Partículas de Madeira e de Materiais Lignocelulósicos*. 1 ed. São Carlos: Serviço de Apoio à Publicações - EESC - USP, 2013, v. 1 , p. 1-22.

POLETO, S. F. S.. **Protótipo Arquitetônico Utilizando Painéis com Inovação**

Tecnológica com Partículas Homogêneas de Resíduos de Madeira. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2014. 136 p.

POLETO, S. F. S. et. al. Evaluation of the mechanical properties of particleboards manufactures with waste of *Pinus elliotti*. **International Journal of Composite Materials**. Rosemead, USA, v. 3, n. 3, p. 56 – 60, 2013.

PORTAL METÁLICA. **Telhas termoacústicas**. Disponível em: <<http://wwwo.metallica.com.br/caracteristicas-das-telhas-termoacusticas>> .Acesso em: 4 out 2016.

PORTAL AECweb. **Forro de EPS – Grupo Isorecort**. Disponível em <https://www.aecweb.com.br/prod/e/forro-de-eps-grupo-isorecort_16964_47600>. Acesso em: 20 dez 2019

PROTOLab – Laboratório de Propriedades termofísicas e Protitipação. **Tabela de Condutividade Térmica de Materiais de Construção**. Disponível em <<http://www.protolab.com.br/Tabela-Condutividade-Material-Construcao.htm>>. Acesso em: 20 dez 2019.

Produtos Derivados da Madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no LaMEM-SET-EESC-USP. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. P. 160.

RORIZ, V. F. **Refrigeração evaporativa por aspersão em telhas de fibrocimento: estudo teórico e experimental**. 2007. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós- Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2007.

SANTOS, M. P.; Aguiar, M. T. P.. **Painéis de madeira como vedação vertical em construções**. Artigo referente à monografia apresentada ao curso de Especialização em Construção Civil – ênfase: Tecnologia e Produtividade das Construções. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

SBS ARQUITETURA SUTENTÁVEL – Estruturas de Madeira & Coberturas Naturais. **Telhas de Madeira – Taubilhas**. Disponível em: <<http://scali.com.br/servicos/telhas-de-madeira-taubilhas/>>. Acesso em: 4 set 2014.

SCHNEIDER, R. T. M.; Neto, M., S. (2009). Ensaio nº 1 – **Determinação da Absorção de água de telhas cerâmicas**. Relatório apresentado como requisito parcial da disciplina de Materiais de Construção. Centro Universitário Luterano de

Palmas – CEULP/ULBRA . Engenharia Civil, Palmas, TO. 15 p.

SILVA, E. M.. **Análise Climática do Município de Patrocínio (MG)**. Caminhos da Geografia. Instituto de Geografia/UFU, 2005.

SILVA, L. F. D. **Estudo do campo térmico da cidade São Carlos (SP) em um episódio climático de inverno**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade São Paulo, São Carlos, 2011.

SILVA, L. F. D.; GONÇALEZ, J. C. **Envelhecimento Artificial Acelerado de Duas Espécies Florestais Amazônicas Para Usos Como Madeira Serrada**. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. 2013.

SILVA, M. R.. **Produção de painel de partículas multimarca à base de madeira Termorretrificada de *Pinus taeda* reforçado com fibras lignocelulósicas**. Pós – doutorado Junior – PDJ Processo nº 163535/2012-4 – CNPq. Pirassununga, 2014.

SKOOG, D. A.; Holler F. J.; Nieman T. A. (2009). **Princípios de Análise instrumental**. 5ª Edição, Editora Bookman Companhia Editora Ltda., p. 1056.

SNELL, J. F.. **Radiometry and photometry**. n: DRISCOLL, W. G., VAUGHAN, W., editors. Optical Society of America. Nova York: McGraw-Hill; 1978. p. 1-30.

SPECTRAGRYPH – Spectroscopy ninja 1.2.13. **Optical spectroscopy software**. 2016. Copyright 2016: Dr Friedrich Menges Software-Entwicklung. Disponível em: <<https://www.effemm2.de/spectragryph/down.html>>. Acesso em: 23 set 2019.

SOL – AR 6.2 (2016). Software para obtenção da carta solar da latitude especificada. Desenvolvido pelo Labeee – Laboratório de eficiência Energética em Edificações. vinculado ao Núcleo de Pesquisa em Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Paraná.

TA instruments. Disponível em < <https://www.tainstruments.com/dtc-300/>>. Acesso em: 20 dez 2019.

ZBBR 1.1 (2004). Software para Classificação Bioclimática das sedes dos municípios brasileiros, conforme a ABNT NBR 15220–3. Software desenvolvido por Maurício Roriz, no Programa de Pós-graduação em Construção Civil, pela Universidade Federal de São Carlos, SP.

ANEXO I – ENSAIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) E MÓDULO DE RUPTURA (MOR)

TABELA 30 – PPH com resíduos de *Eucalyptus* sp. CCA fabricados com Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona.

<i>Eucalyptus</i> sp. CCA									
	Cp	Coef Ang	Carga de Rup	N Max	l(mm)	e(mm)	área(mm²)	MOR	MOE
0,00	1,00	46,48	138,68	7454,05	50,21	9,05	454,40	60,34	3103,11
1,00	2,00	58,93	176,06	9463,23	50,32	8,74	439,80	85,05	4358,19
2,00	3,00	50,92	148,52	7982,95	50,29	8,77	441,04	71,01	3729,56
3,00	4,00	49,75	146,55	7877,06	50,25	9,05	454,76	63,76	3318,37
4,00	5,00	53,21	158,36	8511,85	50,14	8,96	449,25	71,00	3665,75
5,00	6,00	61,03	183,93	9886,24	50,30	8,46	425,54	97,97	4978,92
6,00	7,00	62,03	185,90	9992,13	50,27	8,74	439,36	89,80	4591,89
7,00	8,00	58,80	160,32	8617,20	50,24	8,96	450,15	71,88	4042,79
8,00	9,00	47,40	146,55	7877,06	50,32	9,65	485,59	52,59	2604,44
9,00	10,00	71,00	210,49	11313,84	50,39	9,41	474,17	81,47	4201,23
10,00	11,00	69,89	203,60	10943,50	50,30	9,54	479,86	75,62	3976,36
11,00	12,00	35,23	107,21	5762,54	50,21	9,10	456,91	45,88	2313,12
12,00	13,00	63,98	191,80	10309,25	50,14	8,32	417,16	107,40	5504,58
13,00	14,00	44,40	134,75	7242,81	50,38	9,50	478,61	50,69	2553,67
14,00	15,00	63,62	188,85	10150,69	50,36	9,93	500,07	62,20	3205,55
15,00	16,00	69,66	207,54	11155,27	50,30	10,40	523,12	59,50	3058,78
							Média	71,63	3700,39

TABELA 31 – PPH com resíduos *Eucalyptus* sp. CCB fabricados com Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona.

<i>Eucalyptus</i> sp. CCB									
	Cp	Coef Ang	Carga de Rup	N Max	l(mm)	e(mm)	área(mm²)	MOR	MOE
32,00	33,00	65,68	196,72	10573,70	50,15	9,01	451,85	86,74	4448,72
33,00	34,00	43,10	129,83	6978,36	50,37	9,02	454,34	57,05	2896,74
34,00	35,00	53,94	161,31	8670,41	50,31	9,12	458,83	68,58	3511,77
35,00	36,00	36,12	109,18	5868,43	50,26	9,43	473,95	41,99	2129,14
36,00	37,00	51,11	147,54	7930,27	50,13	8,77	439,64	70,54	3755,77
37,00	38,00	62,77	184,91	9938,91	50,31	8,89	447,26	84,88	4411,89
38,00	39,00	66,33	197,70	10626,37	50,31	9,21	463,36	81,61	4192,93
39,00	40,00	45,34	131,80	7084,25	50,27	9,57	481,08	48,50	2556,91
40,00	41,00	52,52	156,39	8405,96	50,18	9,01	452,12	68,95	3555,40
41,00	42,00	58,10	172,13	9251,99	50,31	9,32	468,89	68,57	3544,07
42,00	43,00	56,73	172,13	9251,99	50,20	9,28	465,86	69,46	3513,26
43,00	44,00	34,57	103,28	5551,30	50,21	9,69	486,53	36,61	1880,22
44,00	45,00	34,22	104,26	5603,98	50,18	9,57	480,22	38,36	1933,12
45,00	46,00	54,71	161,31	8670,41	50,30	9,32	468,80	64,26	3338,15
46,00	47,00	63,42	190,81	10256,04	50,30	9,49	477,35	72,00	3665,63
47,00	48,00	69,10	207,54	11155,27	50,29	9,87	496,36	69,61	3550,52
							Média	64,23	3305,26

TABELA 32 – PPH com resíduos de *Pinus* sp. CCA fabricados com Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona.

<i>Pinus</i> sp. CCA									
	Cp	Coef Ang	Carga de Rup	N Max	l(mm)	e(mm)	área(mm²)	MOR	MOE
16,00	17,00	74,23	219,34	11789,53	50,18	9,72	487,75	77,03	4002,38
17,00	18,00	37,49	114,10	6132,87	50,31	9,94	500,08	37,47	1885,14
18,00	19,00	48,81	146,55	7877,06	50,41	9,76	492,00	50,84	2587,55
19,00	20,00	59,74	180,98	9727,67	50,29	9,44	474,74	69,38	3508,52
20,00	21,00	67,58	195,73	10520,49	50,13	9,70	486,26	69,16	3669,74
21,00	22,00	50,15	144,59	7771,71	50,34	9,59	482,76	52,87	2806,68
22,00	23,00	34,67	101,31	5445,41	50,39	9,97	502,39	32,97	1725,05
23,00	24,00	63,27	193,77	10415,14	50,22	10,29	516,76	57,35	2873,05
24,00	25,00	64,63	191,80	10309,25	50,19	9,52	477,81	71,69	3708,00
25,00	26,00	58,16	176,06	9463,23	50,36	9,47	476,91	66,86	3378,50
26,00	27,00	54,78	162,29	8723,09	50,32	9,61	483,58	58,97	3047,44
27,00	28,00	58,96	170,16	9146,10	50,33	9,75	490,72	59,21	3140,49
28,00	29,00	48,12	145,57	7824,39	50,27	9,29	467,01	58,55	2966,35
29,00	30,00	35,55	106,23	5709,86	50,34	9,44	475,21	40,72	2085,60
30,00	31,00	45,72	134,75	7242,81	50,26	9,55	479,98	49,89	2594,71
31,00	32,00	57,51	169,18	9093,43	50,27	9,83	494,15	57,44	2992,39
							Média	56,90	2935,73

TABELA 33 – PPH com resíduos de *Pinus* sp. CCB fabricados com Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona.

<i>Pinus</i> sp. CCB									
	Cp	Coef Ang	Carga de Rup	N Max	l(mm)	e(mm)	área(mm²)	MOR	MOE
48,00	49,00	44,15	133,77	7190,14	50,23	9,62	483,21	48,46	2452,94
49,00	50,00	50,62	151,47	8141,51	50,27	9,46	475,55	57,70	2954,98
50,00	51,00	55,16	164,26	8828,97	50,27	9,70	487,62	58,04	2987,28
51,00	52,00	53,56	163,27	8775,76	50,25	10,06	505,52	51,72	2601,30
52,00	53,00	67,51	194,75	10467,81	50,08	9,47	474,26	73,95	3943,51
53,00	54,00	57,32	170,16	9146,10	50,35	9,35	470,77	67,14	3460,24
54,00	55,00	53,72	159,34	8564,53	46,98	9,48	445,37	60,32	3334,90
55,00	56,00	40,63	120,00	6450,00	50,27	9,71	488,12	42,27	2193,44
56,00	57,00	52,14	149,50	8035,63	50,30	10,87	546,76	37,54	2005,11
57,00	58,00	46,19	131,80	7084,25	50,35	10,38	522,63	38,01	2038,23
58,00	59,00	58,93	180,00	9675,00	50,33	9,56	481,15	66,44	3329,57
59,00	60,00	61,48	185,90	9992,13	50,26	9,20	462,39	76,99	3902,84
60,00	61,00	57,09	167,21	8987,54	50,28	10,64	534,98	44,77	2342,12
61,00	62,00	51,70	148,52	7982,95	50,32	10,15	510,75	45,81	2441,44
62,00	63,00	60,06	174,09	9357,34	50,34	9,63	484,77	62,87	3319,50
63,00	64,00	63,47	189,83	10203,36	50,32	9,36	471,00	74,66	3821,42
								56,67	2945,55

ANEXO II – ENSAIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR ÀS FACES

TABELA 34 – Resultados de ensaios de tração perpendicular às faces.

<i>Pinus sp. CCA</i>					
Cp	Força	Área (mm)	mm	RTP (kgf/mm²)	RTP = MPa
1.1	880	50,36	50,15	0,34	3,48
1.2	400	50,06	50,47	0,15	1,58
1.3	570	50,17	50,36	0,22	2,26
1.4	770	50,16	50,32	0,30	3,05
2.1	540	49,66	50,29	0,21	2,16
2.2	110	49,53	50,37	0,04	0,44
2.3	655	49,57	50,44	0,26	2,62
2.4	555	50,08	50,31	0,22	2,20
3.1	1100	49,87	50,23	0,44	4,39
3.2	1090	49,37	50,46	0,44	4,38
3.3	445	49,93	50,34	0,18	1,77
3.4	1015	49,67	50,46	0,40	4,05
4.1	740	49,76	50,39	0,30	2,95
4.2	85	49,75	50,3	0,03	0,34
4.3	980	49,77	50,2	0,39	3,92
4.4	1135	49,59	50,16	0,46	4,56
			Média	0,28	2,8

TABELA 35 – Resultados de ensaios de tração perpendicular às faces.

<i>Pinus sp. CCB</i>					
Cp	Força	Área (mm)	mm	RTP (kgf/mm²)	RTP = MPa
1.1	505	50,36	50,15	0,20	2,00
1.2	880	50,06	50,47	0,35	3,48
1.3	1500	50,17	50,36	0,59	5,94
1.4	1600	50,16	50,32	0,63	6,34
2.1	740	49,66	50,29	0,30	2,96
2.2	1050	49,53	50,37	0,42	4,21
2.3	950	49,57	50,44	0,38	3,80
2.4	370	50,03	50,31	0,15	1,47
3.1	930	49,87	50,23	0,37	3,71
3.2	610	49,37	50,46	0,24	2,45
3.3	1570	49,93	50,34	0,62	6,25
3.4	605	49,67	50,46	0,24	2,41
4.1	750	49,76	50,39	0,30	2,99
4.2	1000	49,75	50,3	0,40	4,00
4.3	930	49,77	50,2	0,37	3,72
4.4	650	49,59	50,16	0,26	2,61
			Média	0,36	3,6

TABELA 36 – Resultados de ensaios de tração perpendicular às faces.

<i>Eucalyptus</i> sp. CCA					
Cp	Força	Área (mm)		mm	RTP = MPa
1.1	1030	49,58	50,35	0,41	4,13
1.2	610	49,55	50,32	0,24	2,45
1.3	1380	50,16	50,38	0,55	5,46
1.4	1095	49,51	50,28	0,44	4,40
2.1	940	50,2	50,43	0,37	3,71
2.2	600	50,03	50,14	0,24	2,39
2.3	400	50,48	50,39	0,16	1,57
2.4	355	50,22	50,41	0,14	1,40
3.1	420	50,34	49,52	0,17	1,68
3.2	750	49,48	50,25	0,30	3,02
3.3	380	50,09	50,57	0,15	1,50
3.4	980	50,2	50,16	0,39	3,89
4.1	440	50,21	49,53	0,18	1,77
4.2	460	49,58	50,37	0,18	1,84
4.3	0	49,8	50,42	0,14	1,40
4.4	740	49,58	50,44	0,30	2,96
			Média	0,27	2,7

TABELA 37 – Resultados de ensaios de tração perpendicular às faces.

<i>Eucalyptus</i> sp. CCB					
Cp	Força	Área (mm)		mm	RTP(N/mm2) = MPa
1.1	540	49,81	50,37	0,22	2,15
1.2	600	49,18	50,5	0,24	2,42
1.3	750	49,62	50,39	0,30	3,00
1.4	1065	49,25	50,43	0,43	4,29
2.1	1205	49,64	50,46	0,48	4,81
2.2	1655	49,39	50,63	0,66	6,62
2.3	740	49,42	50,48	0,30	2,97
2.4	1310	49,4	50,37	0,53	5,26
3.1	440	49,61	50,36	0,18	1,76
3.2	2050	49,53	50,39	0,82	8,21
3.3	340	49,61	50,33	0,14	1,36
3.4	1675	49,66	50,19	0,67	6,72
4.1	970	49,81	50,46	0,39	3,86
4.2	150	49,42	49,56	0,06	0,61
4.3	560	49,55	49,79	0,23	2,27
4.4	1630	49,81	50,41	0,65	6,49
			Média	0,39	3,9

ANEXO III – ENSAIOS DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSOS FACE

TABELA 38 – Ensaio de Arrancamento de parafusos face – *Pinus* sp. CCA.

CPs	Força Kgf	Força N
1	150	1470
2	115	1127
3	255	2499
4	140	1372
5	150	1470
6	180	1764
7	150	1470
8	140	1372
9	210	2058
10	270	2646
11	240	2352
12	200	1960
13	135	1323
14	180	1764
15	185	1813
16	150	1470
Média	178	1746

TABELA 39 – Ensaio de Arrancamento de parafusos face – *Pinus* sp. CCB.

CPs	Força Kgf	Força N
1	150	1470
2	145	1421
3	205	2009
4	145	1421
5	135	1323
6	175	1715
7	160	1568
8	185	1813
9	185	1813
10	160	1568
11	170	1666
12	190	1862
13	135	1323
14	160	1568
15	0	0
16	210	2058
Média	157	1537

TABELA 40 – Ensaio de Arrancamento de parafusos face – *Eucalyptus* sp. CCA.

CPs	Força Kgf	Força N
1	190	1862
2	130	1274
3	140	1372
4	100	980
5	195	1911
6	135	1323
7	110	1078
8	140	1372
9	285	2793
10	115	1127
11	120	1176
12	175	1715
13	175	1715
14	190	1862
15	185	1813
16	210	2058
Média	162	1589

TABELA 41 – Ensaio de Arrancamento de parafusos face – *Eucalyptus* sp. CCB.

CPs	Força Kgf	Força N
1	250	2450
2	250	2450
3	230	2254
4	230	2254
5	150	1470
6	135	1323
7	110	1078
8	110	1078
9	70	686
10	115	1127
11	170	1666
12	170	1666
13	135	1323
14	125	1225
15	80	784
16	195	1911
Média	158	1547

ANEXO IV – ENSAIOS DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSOS TOPO

TABELA 42 – Ensaio de Arrancamento de parafusos topo – *Pinus* sp. CCA.

CPs	Força Kgf	Força N
1	140	1372
2	280	2744
3	0	0
4	295	2891
5	280	2744
6	320	3136
7	250	2450
8	260	2548
9	0	0
10	0	0
11	205	2009
12	240	2352
13	185	1813
14	250	2450
15	335	3283
16	0	0
Média	190	1862

TABELA 43 – Ensaio de Arrancamento de parafusos topo – *Pinus* sp. CCB.

CPs	Força Kgf	Força N
1	210	2058
2	260	2548
3	260	2548
4	333	3263,4
5	220	2156
6	315	3087
7	240	2352
8	165	1617
9	340	3332
10	335	3283
11	370	3626
12	270	2646
13	235	2303
14	290	2842
15	320	3136
16	0	0
Média	260	2550

TABELA 44 – Ensaio de Arrancamento de parafusos topo – *Eucalyptus* sp. CCA.

CPs	Força Kgf	Força N
1	265	2597
2	245	2401
3	255	2499
4	258	2528,4
5	265	2597
6	275	2695
7	265	2597
8	240	2352
9	225	2205
10	175	1715
11	150	1470
12	200	1960
13	0	0
14	165	1617
15	270	2646
16	185	1813
Média	215	2106

TABELA 45 – Ensaio de Arrancamento de parafusos topo – *Eucalyptus* sp. CCB.

CPs	Força Kgf	Força N
1	230	2254
2	245	2401
3	235	2303
4	195	1911
5	160	1568
6	230	2254
7	250	2450
8	290	2842
9	135	1323
10	110	1078
11	280	2744
12	205	2009
13	0	0
14	200	1960
15	280	2744
16	110	1078
Média	197	1932

ANEXO V – ENSAIOS FÍSICOS DE INCHAMENTO E ABSORÇÃO

TABELA 46 – Ensaio de Inchamento e absorção de PPH de *Pinus* sp. CCA.

Cps	m	massa	esp.	esp.	D
	(inicial)	(24h)	(inicial)	(24 h)	
1.1	20,75	26,9	10,24	11,14	0,81
1.2	22,12	24,2	9,25	9,76	0,95
1.3	21,69	24,41	8,81	9,54	0,98
1.4	22,6	26,34	10,21	10,84	0,88
2.1	20,28	23,08	9,25	9,48	0,88
2.2	23,05	24,66	9,18	9,79	1,01
2.3	22,69	25,89	11,08	11,67	0,82
2.4	23,3	26,5	10,86	11,52	0,87
3.1	18,08	26,19	10,25	11,14	0,71
3.2	22,2	24,42	8,83	9,68	1,00
3.3	20,6	26,52	10,37	11,41	0,80
3.4	26,04	27,55	9,55	10,06	1,09
4.1	20,82	24,23	9,55	10,38	0,88
4.2	21,59	24,18	9,22	9,91	0,95
4.3	24,61	26,36	9,46	10,06	1,05
4.4	24,18	26,15	9,61	10,12	1,00
Média	22,16	25,25	9,73	10,41	0,92

TABELA 47 – Ensaio de Inchamento e absorção de PPH de *Pinus* sp. CCB.

Cps	m	massa	esp.	esp.	D
	(inicial)	(24h)	(inicial)	(24 h)	
1.1	18,29	23,03	9,23	10,1	0,78
1.2	23,59	25,71	9,94	10,62	0,95
1.3	22,54	24,29	8,99	9,6	1,00
1.4	25,2	26,61	9,63	9,8	1,05
2.1	22,81	26,37	9,74	10,23	0,93
2.2	22,71	28,78	10,05	12,44	0,90
2.3	23,93	25,99	9,5	9,91	1,00
2.4	23,52	25,98	9,29	10,05	1,01
3.1	22,59	27,43	10,57	11,36	0,85
3.2	22,04	26,15	9,96	11,11	0,88
3.3	22,25	26,83	9,26	10,73	0,95
3.4	20,85	25,6	9,39	10,02	0,88
4.1	20,21	26,49	10,58	11,78	0,77
4.2	22,68	25,4	10,18	10,26	0,88
4.3	22,67	25,4	9,52	10,28	0,97
4.4	20,76	24,53	9,06	10,13	0,91
Média	22,29	23,40	9,68	10,53	0,94

TABELA 48 – Ensaio de Inchamento e absorção de PPH de *Eucalyptus* sp. CCA.

Cps	m	massa	esp.	esp.	D
	(inicial)	(24h)	(inicial)	(24 h)	
1.1	23,34	25,67	8,75	9,11	1,06
1.2	22,54	25,04	8,78	9,32	1,02
1.3	20,87	24,94	9,03	9,45	0,92
1.4	23,35	25,24	9,14	9,51	1,01
2.1	21,86	25,7	9,67	10,28	0,90
2.2	22,33	25,55	8,99	9,56	0,99
2.3	23,73	27,19	9,65	10,69	0,98
2.4	22,86	27,99	10,13	10,58	0,89
3.1	21,85	24,48	8,83	9,09	0,99
3.2	20,4	24,26	8,75	9,14	0,92
3.3	24,35	26,81	9,32	10	1,04
3.4	20,97	25,05	9,4	9,6	0,89
4.1	17,17	22,74	8,36	9,2	0,82
4.2	23,62	27,98	9,75	10,16	0,97
4.3	20,35	23,87	8,72	9,58	0,94
4.4	20,65	24,92	9,38	9,97	0,89
Média	21,89	25,92	9,17	9,70	0,95

TABELA 49 – Ensaio de Inchamento e absorção de PPH de *Eucalyptus* sp. CCB.

Cps	m	massa	esp.	esp.	D
	(inicial)	(24h)	(inicial)	(24 h)	
1.1	27,13	28,64	9,86	9,84	1,10
1.2	23,1	24,94	8,53	8,81	1,09
1.3	23,02	27,26	9,74	10,26	0,95
1.4	19,3	27,31	9,66	10,5	0,80
2.1	23,07	26,3	9,25	9,44	1,00
2.2	23,81	26,79	9,67	10,07	0,99
2.3	23,42	25,7	9,07	9,24	1,04
2.4	22,02	26,34	9,42	10,06	0,94
3.1	21,38	25,05	8,66	9,42	0,99
3.2	20,47	28,16	9,99	10,4	0,82
3.3	24,59	26,18	9,02	9,15	1,09
3.4	25,68	27,42	9,31	9,43	1,10
4.1	20,84	24,66	8,88	9,68	0,94
4.2	22,13	28,04	10,19	11,26	0,87
4.3	24,05	26,14	9,15	9,61	1,05
4.4	22,44	28,47	10,1	10,76	0,89
Média	22,90	26,66	9,41	9,87	0,98