UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

GUILHERME HENRIQUE AMENT BARBIRATO

Forro OSB de madeira Balsa residual aplicado em protótipo de aviário

Pirassununga – SP

2018

GUILHERME HENRIQUE AMENT BARBIRATO

Forro OSB de madeira Balsa residual aplicado em protótipo de aviário

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Juliano Fiorelli

Pirassununga - SP

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo Serviço de
Biblioteca e Informação, FZEA/USP, com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B237f	<p>Barbirato, Guilherme Henrique Ament Forro OSB de madeira Balsa residual aplicado em protótipo de aviário / Guilherme Henrique Ament Barbirato ; orientador Juliano Fiorelli. -- Pirassununga, 2018. 107 f.</p> <p>Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.</p> <p>1. Subproduto agroindustrial. 2. Painéis de partículas orientadas (OSB). 3. Resina orgânica. 4. Madeira Balsa. 5. Instalações avícolas. I. Fiorelli, Juliano, orient. II. Título.</p>
-------	---

GUILHERME HENRIQUE AMENT BARBIRATO

Forro OSB de madeira Balsa residual aplicado em protótipo de aviário

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Data de aprovação: ____/ ____/ ____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Juliano Fiorelli

Instituição Universidade de São Paulo - USP

Presidente da Banca Examinadora

Prof.(a) Dr.(a) Cristiane Inácio de Campos

Instituição Universidade Estadual de São Paulo - UNESP

Dr.(a) Débora Caroline Gonçalves de Oliveira

Instituição Externo

“Dedico este trabalho a todos os alunos, professores e técnicos envolvidos com o Grupo de Construções e Ambiência – CONSTRAMBI, com os quais aprendi muito, e àqueles que possuem grande paixão pela área de materiais aplicados para o bem-estar animal.”

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Juliano Fiorelli, que nos anos de convivência, muito me ensinou, contribuindo para o meu crescimento científico e intelectual.

Ao Prof. Dr. Fabrizio Sarasini, por me receber e colaborar com o meu projeto de pesquisa em Roma – Itália.

À minha família, em especial à Marta Cristina Ament Barbirato, Luiz Henrique Barbirato e Vanessa Cristina Ament Barbirato que sempre incentivaram meus estudos.

À minha namorada Tainara Faria de Andrade por acreditar em mim e suportar junto comigo os momentos mais difíceis que passei.

Aos Técnicos Zaqueu Dias de Freitas, Mariana Pavesi e Diego Ferrari, que contribuíram para que os processos fossem realizados no laboratório.

Aos meus amigos e professores do Laboratório de Construções e Ambiente (CONSTRAMBI), por todo apoio dado e pelo carinho de todos.

Aos meus amigos, em especial ao Eduardo Brichta David, Luan de Oliveira, Luiz Felipe Veridiano Eiseiring, Luiz Granzioli, Gabriel Rissi e Bruno Mantoan que sempre estiveram presentes durante minha pós-graduação.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, pela a oportunidade de realização do curso de pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro e a concessão da bolsa.

Ao Laboratório de Construções e Ambiente (CONSTRAMBI), por colocar à disposição a área experimental e o laboratório.

À Università di Roma – “La Sapienza”, pela oportunidade de realização de um estágio no exterior.

Aos meus amigos de Roma, em especial ao Luca Costabile, Claudia Sergi, Edoardo, Sabrina Michela, Laura, Lídia, Alessia, Carolina, Luca Ferrante, Danilo, Giovanni, Jácopo e Virgílio que sempre estiveram presentes durante meu estágio em Roma.

Grazie Mille!

“A vida é uma grande pergunta em busca de grandes respostas”

Augusto Cury

RESUMO

BARBIRATO, G. H. A. **Forro OSB de madeira Balsa residual aplicado em protótipo de aviário**. 2018. 110 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

Este trabalho apresenta um estudo da otimização da densidade e do teor de resina orgânica (resina poliuretana à base de óleo de mamona) na produção de painéis de partículas orientadas (OSB – Oriented Strand Board) de baixa densidade utilizando biomassa florestal residual de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*) e avalia o desempenho térmico do painel otimizado como forro em protótipos de aviários. Na primeira fase da pesquisa foi realizada a caracterização físico-química e microestrutural das partículas de madeira Balsa para analisar a sua morfologia e seu potencial como matéria-prima para a produção de painéis OSB. Na segunda fase, foram confeccionados e caracterizados, por meio da determinação das propriedades térmicas, físicas e mecânicas, painéis OSB de baixa densidade (300 e 400 kg/m³) produzidos com biomassa florestal residual de madeira Balsa e com diferentes teores de resina poliuretana à base de óleo de mamona (11 e 15%). Os resultados obtidos foram comparados com as indicações de normativas nacionais e internacionais a fim de selecionar a formulação que atende aos requisitos estabelecidos para uso do material em ambiente interno como forro. Na terceira fase, o tratamento que apresentou o melhor desempenho térmico, físico e mecânico foi aplicado como forro em protótipos de aviários que tiveram seu ambiente interno avaliado. Os resultados obtidos indicaram que a madeira Balsa residual apresentou potencial como matéria-prima para produção de painéis OSB de 400 kg/m³ e teor de resina de 15%. O uso de forro de painel OSB sob a cobertura do protótipo de aviário proporcionou uma menor temperatura interna do ambiente nas estações de primavera e verão, em comparação com protótipo sem forro e consequentemente, menores índices de conforto térmico foram aferidos nessa instalação rural.

Palavras-chave: Painéis de partículas. Resina Orgânica. Instalações avícolas.

ABSTRACT

BARBIRATO, G. H. A. **Forro OSB de madeira Balsa residual aplicado em protótipo de aviário**. 2018. 110 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

This work presents a study of the optimization of density and content of organic resin (polyurethane resin based on castor oil) in the production of low density Oriented Strand Board (OSB) using wood Balsa waste (*Ochroma Pyramidale*) and evaluates the thermal performance of the optimized panel as a liner in aviary prototypes. In the first phase of the research the physico-chemical and microstructural characterization of the particles of Balsa wood was carried out to analyze its morphology and its potential as raw material for the production of OSB panels. In the second phase, OSB panels of low density (300 and 400 kg/m³) produced with residual wood biomass of Balsa wood and with different levels of polyurethane resin were prepared and characterized, by means of the determination of the thermal, physical and mechanical properties. castor oil base (11 and 15%). The results obtained were compared with the national and international regulations in order to select the formulation that meets the requirements established for the use of the material in an indoor environment as a liner. In the third phase, the treatment that presented the best thermal, physical and mechanical performance was applied as a liner in prototype of aviaries that had their internal environment evaluated. The obtained results indicated that the wood Balsa waste presented potential as raw material for the production of OSB panels of 400 kg/m³ and resin content of 15%. The use of OSB panel liner under the cover of the aviary prototype provided a lower internal temperature of the environment in the spring and summer seasons compared to unlined prototype and consequently, lower thermal comfort indexes were measured in this rural setting.

Key words: Particleboards. Organic Resin. Poultry Installations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Total de artigos publicados com o termo "OSB panel"	14
Figura 2 - Total de artigos publicados com o termo "Balsa wood"	15
Figura 3 - Árvore de madeira Balsa (Ochroma Pyramidale).....	18
Figura 4 - Seção transversal - Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) da estrutura da Ochroma Pyramidale.....	20
Figura 5 - Módulo de elasticidade em função da densidade. Linhas e equações pretas sólidas correspondem a ajustes lineares dos dados experimentais. As linhas tracejadas correspondem aos modelos extrapolados para MOE.....	22
Figura 6 - Módulo de ruptura em função da densidade. Linhas e equações pretas sólidas correspondem a ajustes lineares dos dados experimentais. As linhas tracejadas correspondem aos modelos extrapolados para MOR.....	22
Figura 7 - Tipos de painéis de madeira reconstituída.....	23
Figura 8 - Camadas de partículas orientadas (face/miolo/face)	25
Figura 9 - Partículas do tipo "strand" (lascas).....	25
Figura 10 - (a) Aplicação de painéis OSB como forro; (b) aplicação de painéis OSB como mobiliário	26
Figura 11 - Painéis OSB comerciais de Pinus.....	27
Figura 12 - Esquema da radiação solar transmitida para uma instalação avícola	34
Figura 13 - Esquema de condução da radiação em instalação avícola provida de forro	36
Figura 14- Mortalidade de aves de corte em aviários sem forro: (a) aves mortas por estresse térmico. (b) necropsia de uma ave morta por estresse térmico	37
Figura 15 - Fluxograma do projeto de pesquisa	43
Figura 16 - Amostra de resíduos de Balsa coletados na empresa de ramo aeronáutico em Santa Cruz da Conceição – SP	44
Figura 17 - (a) Moinho de lascas (b) Estufa com as lascas.	45
Figura 18 - Resina: polioliol (fase clara) e catalisador (fase escura).....	45
Figura 19 - Multipicnômetro com porta amostra	46
Figura 20 - (a) Lascas de madeira Balsa imersas em água ionizada; (b) aplicação do pHmetro digital.....	47
Figura 21 - Microscópio Eletrônico de Varredura	48
Figura 22 - Processo de produção dos painéis OSB. A) Lascas ("strand") de madeira balsa. B) Molde orientador de partículas. C) Colchão de partículas orientadas na prensa termo-hidráulica. D) Pannel de partícula OSB de madeira balsa	50
Figura 23 - Pesagem do corpo-de-prova após absorção de água.....	52
Figura 24 - Ensaio de inchamento em espessura.....	53
Figura 25 - Ensaio de flexão: (a) e (b) corpos de prova em ensaio	54
Figura 26 - Ensaio de arrancamento de parafuso: (a) topo (b) face	56
Figura 27 - Ensaio de tração perpendicular: (a) corpo-de-prova em ensaio; (b) corpo-de-prova ensaiado.....	56
Figura 28 - Ensaio flexão 4 pontos: (a) e (b) corpo-de-prova em ensaio	58
Figura 29 - Ensaio de impacto: (a) máquina de ensaio; (b) ponta hemisférica (Fonte: instron.it); (c) corpo-de-prova em ensaio.....	59
Figura 30 - Perfilometria: (a) máquina de ensaio; (b) corpo-de-prova para ensaio	60
Figura 31- Ensaio térmico: (a) máquina de ensaio; (b) corpo de prova coberto com pasta térmica; (c) corpo-de-prova em ensaio.....	61
Figura 32 - Protótipos experimentais	62

Figura 33 - Painel OSB	63
Figura 34 - (a) Protótipo desprovido de forro (controle); (b) Protótipo provido de forro	64
Figura 35 - Corte transversal de partícula de madeira Balsa residual. (a) Diâmetro dos poros e espessura das paredes fibrilares (imagem ampliada 500x); (b) Diâmetro dos vasos (imagem ampliada 100x)	68
Figura 36 - Curvas de força x deformação de painéis OSB representativos de cada tratamento em função do aumento da energia de impacto até a perfuração	76
Figura 37 - Propriedades de flexão de painéis OSB virgens	77
Figura 38 - Variação das propriedades à flexão normalizadas com energia de impacto para painéis OSB	78
Figura 39 - Perfil de indentação residual típica (esquerda) e vista 3D (direita) do tratamento T1 para painéis OSB, em função do aumento da energia de impacto obtida pelo profilômetro: a 25%, 50% e 75% da Ep	79
Figura 40 - Perfil de indentação residual típica (esquerda) e vista 3D (direita) do tratamento T2 para painéis OSB, em função do aumento da energia de impacto obtida pelo profilômetro: a 25%, 50% e 75% da Ep	80
Figura 41 - Perfil de indentação residual típica (esquerda) e vista 3D (direita) do tratamento T3 para painéis OSB, em função do aumento da energia de impacto obtida pelo profilômetro: a 25%, 50% e 75% da Ep	81
Figura 42 - Perfil de indentação residual típica (esquerda) e vista 3D (direita) do tratamento T4 para painéis OSB, em função do aumento da energia de impacto obtida pelo profilômetro: a 25% e 50% da Ep. Para o tratamento 4 com 75% ocorreu a perfuração, consequentemente foi descartado	82
Figura 43 - Profundidade dentada em função da energia de impacto para painéis OSB	83
Figura 44 - Tratamento 1. a) Seção transversal do painel. b) Seção transversal ampliada 100 x.	84
Figura 45 - Tratamento 2. a) Seção transversal do painel. b) Seção transversal ampliada 100 x.	85
Figura 46: Tratamento 3. a) Seção transversal do painel. b) Seção transversal ampliada 100 x.	85
Figura 47 - Tratamento 4. a) Seção transversal do painel. b) Seção transversal ampliada 100 x	86
Figura 48 - Valores médios da temperatura ambiente interna dos protótipos	90
Figura 49 - Valores médios da umidade relativa interna dos protótipos	92
Figura 50 - Valores médios de entalpia dos protótipos	93
Figura 51 – Valores médio de IAPfc dos protótipos	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas da madeira Balsa para diferentes densidades.....	21
Tabela 2 - Razões de compactação de acordo com a espécie e densidade do painel comercial.	30
Tabela 3 - Plano experimental.....	42
Tabela 4: Medidas dos protótipos experimentais adotadas por Cravo (2015)	62
Tabela 5 - Densidade das partículas de madeira Balsa e outros resíduos agroindustriais.....	66
Tabela 6 - Composição química de partículas de madeira Balsa e resíduos agroindustriais.	67
Tabela 7 - Valores médios obtidos das propriedades físicas dos painéis e valores recomendados pela norma para placa OSB tipo 1	70
Tabela 8 - Valores médios obtidos das propriedades mecânicas e valores recomendados pelas normas EN 300:2002 para placas OSB tipo 1.....	72
Tabela 9 - Valores médios de arrancamento de parafuso.....	73
Tabela 10 - Parâmetros de impacto para painéis OSB	75
Tabela 11 - Valores médios obtidos das propriedades térmicas e valores recomendados pela norma NBR 15220:2003	83
Tabela 12 - Valores médios das variáveis térmicas para a primavera.....	88
Tabela 13 - Valores médios das variáveis térmicas para o verão.....	89
Tabela 14: Painéis para usos gerais, incluindo mobiliário, interiores, utilizados em ambiente seco.....	106
Tabela 15: Painéis para fins estruturais utilizados em ambiente seco - requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.	106
Tabela 16: Painéis para fins estruturais utilizados em ambiente úmido - requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.	107
Tabela 17: Painéis para fins estruturais especiais utilizados em ambiente úmido - requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AI - Adesão interna

CP – Corpo-de-prova

CV – Coeficiente de variação

DAP - Diâmetro à Altura do Peito.

EMIC - Fabricante de máquinas universais de ensaios.

et al - "entre outros", tradução livre do latim usada para citar artigos escritos por mais de três autores.

GPa – Giga Pascal – unidade de medida utilizada para Tensão

MDP - Medium Density Particleboard.

MEV - Microscopia Eletrônica por Varredura.

MOR - Módulo de ruptura

MOE - Módulo de elasticidade

MPa - Mega Pascal - unidade de medida utilizada para Tensão.

OSB - Oriented Strand Board.

pH - Potencial Hidrogeniônico", uma escala logarítmica que mede o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma determinada solução.

PU-Mamona – Resina Poliuretana a base de óleo de mamona.

T1 – tratamento 1

T2 – tratamento 2

T3 – tratamento 3

T4 – tratamento 4

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	13
2	OBJETIVOS	17
3	REVISÃO DA LITERATURA	18
3.1	Madeira Balsa	18
3.2	Painéis de madeira reconstituída	23
3.3	Painéis de madeira aglomerada	23
3.4	Painel OSB	24
3.5	Razão de compactação em painéis OSB	29
3.6	Parâmetros de produção para painéis OSB.....	30
3.7	Parâmetros normativos para painéis OSB	32
3.8	Instalações avícolas	33
3.8.1	Coberturas em instalações avícolas.....	34
3.8.2	Forro em instalações avícolas	36
3.9	Adesivo	39
3.10	Conclusões da revisão	40
4	METODOLOGIA	42
4.1	Fases do projeto.....	42
4.2	Material	44
4.2.1	Coleta da matéria-prima	44
4.3	Métodos	46
4.3.1	Primeira fase – Caracterização da madeira Balsa	46
4.3.1.1	Densidade real das partículas	46
4.3.1.2	Determinação do pH	47
4.3.1.3	Análise química das partículas de madeira Balsa	47
4.3.1.4	Caracterização microestrutural (MEV) das partículas de madeira Balsa..	48
4.4	Segunda fase – Produção e caracterização dos painéis OSB	49
4.4.1	Produção dos painéis OSB	49
4.4.2	Propriedades físicas	50
4.4.2.1	Densidade aparente	50
4.4.2.2	Absorção de água 2 horas e 24 horas	51
4.4.2.3	Inchamento em espessura 2 horas e 24 horas	52
4.4.2.4	Análise estatística.....	53
4.4.3	Propriedades mecânicas	53
4.4.3.1	Módulo de ruptura (MOR) e Módulo de elasticidade (MOE).....	53
4.4.3.2	Arrancamento de parafuso face e topo (Ap face e Ap topo).....	55
4.4.3.3	Adesão interna (AI)	56
4.4.3.4	Ensaio de flexão estática 4 pontos	57
4.4.3.5	Ensaio de baixa velocidade de impacto.....	58
4.4.3.6	Profilometria	59
4.4.3.7	Análise estatística	60
4.4.4	Propriedades térmicas	60
4.4.4.1	Condutividade térmica	60
4.4.4.2	Análise estatística	61
4.4.5	Seleção da densidade e teor de resina	61
4.6	Terceira fase – Aplicação dos painéis OSB em protótipos de aviário....	62
4.6.1	Protótipos experimentais	62
4.6.2	Produção dos painéis OSB de madeira Balsa.....	62
4.6.3	Aplicação dos painéis OSB e coleta dos dados no interior dos protótipos	63

4.6.4	Determinação dos índices de conforto térmico	64
4.6.4.1	Entalpia.....	64
4.6.4.2	Índice térmico de produtividade para frangos de corte (IAPfc).....	64
4.6.5	Análise estatística dos dados térmicos	65
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1	Primeira fase – Caracterização da matéria-prima	66
5.1.1	Densidade real das partículas	66
5.1.2	Composição química e pH	66
5.1.3	Análise microestrutural	68
5.1.4	Considerações parciais da primeira fase	69
5.2	Segunda fase – Caracterização dos painéis OSB	69
5.2.1	Propriedades físicas.....	70
5.2.2	Propriedades mecânicas	71
5.2.2.1	Módulo de ruptura, Módulo de elasticidade e adesão interna.....	71
5.2.2.2	Arrancamento de parafuso face e topo	72
5.2.2.3	Baixa velocidade de impacto.....	74
5.2.2.4	Flexão estática 4 pontos	77
5.2.2.5	Profilometria dos painéis OSB	78
5.2.3	Condutividade térmica	83
5.2.4	Características anatômicas dos painéis OSB de madeira Balsa residual. .	84
5.2.5	Seleção do melhor tratamento	86
5.2.6	Considerações parciais da segunda fase	87
5.3	Terceira fase – Aplicação em protótipos de aviário	87
5.3.1	Desempenho térmico	88
5.3.1.1	Variáveis térmicas	88
5.3.2	Considerações parciais da terceira fase	95
6	CONCLUSÕES	96
	REFERÊNCIAS	97
	ANEXO 1 – Tabelas da EN 300/2002.....	106

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Entende-se por biomassa florestal primária (BFP) a fração biodegradável dos produtos gerados e que são processados para fins energéticos. Nos casos dos reflorestamentos, a biomassa florestal primária é formada por materiais vegetais procedentes das seguintes operações de manejo: podas, seleção de brotos, desbastes, plantas pequenas e controle da vegetação. A biomassa florestal secundária (BFS) é constituída da matéria orgânica residual (costaneiras, serragem, cavacos, pedaços, licores negros, entre outros), gerada nos processos da indústria de transformação da madeira: serrarias, fábricas de celulose, fábricas de placas e compensados, carpintarias e fábricas de móveis. Incluem-se ainda neste tipo de biomassa os restos de madeira procedentes de outras atividades industriais (pallets e embalagens) e resíduos urbanos geralmente da construção civil e das podas.

O destino desse material é discutido em diversos trabalhos científicos, os quais propõem a queima da biomassa florestal para a produção de energia. No entanto, outras aplicações mais nobres para esses resíduos não aproveitáveis devem ser exploradas.

Um destes resíduos não aproveitáveis é a madeira Balsa, que foi selecionada para estudo devido a fatores como sua baixa densidade, alta propriedade mecânica e sua elevada taxa de crescimento, perdendo apenas para o Bambu. Esta é considerada a madeira comercial mais leve e de crescimento mais rápido no mundo, já tendo sua utilização consagrada nos ramos náutico e aeronáutico.

Diversas pesquisas têm avaliado a aplicação de matéria-prima fibrosa de subprodutos agroindustriais ou da biomassa florestal, para a confecção de painéis de partículas aglomerados com resina orgânica ou inorgânica, em diferentes regiões do mundo, e esses estudos têm demonstrado resultados satisfatórios.

Em meados da década de 1970 foi iniciado o processo de desenvolvimento de painéis planos estruturais dos tipos "waferboard" e "*oriented strand board*" ou OSB. Estes painéis são tipicamente fabricados a partir de partículas de madeira do gênero *Pinus* e *Eucaliptus* e utilizam quase a totalidade das toras, pois agregam na produção as toras finas, tortas, galhadas e em alguns casos, a casca. As únicas partes desprezadas das árvores são folha e raiz. Desde então, os painéis OSB (*Oriented Strand Board*) têm competido com os painéis de madeira compensada desde seu lançamento comercial nos Estados Unidos. Uma outra vantagem dos painéis OSB em relação aos painéis de madeira compensada é a utilização de partículas de madeira com baixa qualidade, visto que os

painéis de madeira compensada apenas utilizam uma madeira de boa qualidade e toras íntegras.

Com intuito de fazer um levantamento bibliográfico nas bases de dados Scopus e Web of Science, com o objetivo de levantar informações referentes ao avanço científico ao longo das últimas quatro décadas pelo tema de painéis de partículas orientadas (*OSB panel*) e a partir de que momento começaram a surgir pesquisas com madeira Balsa (*balsa wood*) como matéria-prima para a produção desses painéis.

Dessa forma essa busca dividiu-se em três etapas:

1. Utilizou-se primeiramente o descritor OSB panel (isoladamente);
2. Balsa wood (isoladamente);
3. OSB panel; Balsa wood (combinadamente).

Os descritores utilizados na busca deveriam estar presentes no título, resumo ou palavras-chave dos artigos científicos. Foi possível observar neste levantamento que pesquisas científicas abordando painéis OSB começaram a ganhar destaque na década de 1980 e o número de publicações neste período foi apenas de 6 artigos. Sendo que as publicações se mantiveram crescente até 2010.

Figura 1 - Total de artigos publicados com o termo "OSB panel"

Fonte: Base de dados WEB OF SCIENCE e SCOPUS

Já na segunda etapa, refinamos a busca para encontrar artigos que tratassem do tema de partículas de madeira de balsa (*Ochroma Pyramidale*), utilizando a palavra-chave

“Balsa wood” isoladamente, pois não foram encontrados artigos científicos relacionando a madeira balsa com painéis OSB. Foi possível constatar que a proposta de utilização da madeira balsa em pesquisas científicas já existe desde a década de 1960. O primeiro trabalho encontrado foi do autor Knoell (1967), onde ele avalia os efeitos físicos e ambientais sobre as características dissipadoras de energia da madeira balsa. No ano seguinte, Ancient (1968) estudou o desenvolvimento de laminados de madeira balsa e seu uso como material estrutural para aviões.

A partir da década de 1980 foram encontradas diversas publicações de artigos abordando a morfologia da madeira balsa, as propriedades físico-mecânicas, utilização desta nos ramos náutico e aeronáutico em decorrência da baixa densidade da madeira.

Figura 2 - Total de artigos publicados com o termo “Balsa wood”

Fonte: Bases de dados WEB OF SCIENCE e SCOPUS

A terceira busca que foi sobre “painéis OSB de madeira Balsa”, não obteve resultados de publicações nas bases de dados Web of Science e Scopus.

No portal de teses e dissertações da USP está publicada a tese de Hellmeister (2017) que apresenta um estudo de painéis OSB (*Oriented Strand Board*) com resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Piramidale*) proveniente de reflorestamento, aglomerados com resinas ureia-formaldeído (UF), fenol-formaldeído (FF) e poliuretana à base de óleo mamona (PU-Mamona). O autor avaliou painéis de baixa e média densidade, utilizando

8% para as resinas UF e FF e 12% para a resina PU-Mamona. Os resultados obtidos indicam pela necessidade de novos estudos visando otimizar o teor de resina.

A partir deste levantamento ficou evidenciado o ineditismo do objetivo desse trabalho e os resultados poderão contribuir como o campo do conhecimento de maneira incremental.

Portanto, a hipótese dessa pesquisa permeia a afirmação de que é viável a aplicação de painéis OSB de madeira Balsa residual aglomerados com resina poliuretana à base de óleo de mamona como forro em protótipo de aviário.

Sendo assim, esse trabalho teve como objetivo otimizar o teor de resina orgânica (resina poliuretana à base de óleo de mamona) na produção de painéis de partículas orientadas (OSB – *Oriented Strand Board*) de baixa densidade de madeira Balsa (*Ochroma Piramidale*) residual e avaliar o desempenho térmico de protótipos de aviários providos de forro de painel OSB otimizado.

Para atingir esses objetivos foram produzidos painéis com diferentes densidades (300 kg/m^3 e 400 kg/m^3), aglomerados com resina poliuretana à base de óleo de mamona em diferentes teores (11% e 15%). Posteriormente, a formulação com melhor desempenho térmico, físico e mecânico foi aplicada em protótipos de aviário buscando avaliar o desempenho térmico dos painéis quando utilizados como forro.

2. OBJETIVOS

- Objetivo geral

Otimizar a densidade e o teor de resina poliuretana à base de óleo de mamona para produção de painéis OSB de baixa densidade de madeira Balsa (*Ochroma Piramidale*) residual e avaliar o desempenho térmico de protótipos de aviários providos de forro desse painel.

- Objetivos específicos

1) Avaliar o potencial da madeira Balsa residual como matéria-prima para produção de painéis OSB;

2) Otimizar o teor de resina poliuretana à base de óleo de mamona para produção de painéis OSB de baixa densidade de madeira Balsa residual;

3) Estudar o ambiente interno de protótipos de aviários sem forro e com forro de painéis OSB de madeira Balsa residual.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta informações extraídas da literatura referentes à madeira Balsa, painéis de madeira reconstituída, painéis de partículas orientadas (OSB) e alternativas ambientais para instalações zootécnicas e procura contextualizar o estado da arte que permeia esse campo do conhecimento.

3.1 Madeira Balsa

A espécie conhecida por Pau-de-balsa, *Ochroma Pyramidale* (Carv. ex Lam) Urb., pertence à família Malvaceae, com ocorrência natural no Brasil (Amazônia ocidental), no Amazonas, Acre e Pará. No estado de Mato Grosso a área reflorestada com a espécie aumentou muito dos anos 2000 a 2010. A espécie alcança de 18 a 25 m de altura e DAP (diâmetro à altura do peito) de até 50 cm, em aproximadamente 7 anos. Seu fuste é reto, cilíndrico e livre de ramas até 15m de altura ou mais, sendo a copa aberta (Figura 3). Possui casca lisa e acinzentada, mosqueada de branco a pardo (FINGER; LOGSDON; ROCHA, 2012).

Figura 3 - Árvore de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*)

Fonte: Própria autoria.

Segundo SEDER (2011) a área de ocorrência natural da madeira Balsa engloba áreas ao longo da América Central e América do Sul dentre as espécies pioneiras da Amazônia Oriental.

Sua velocidade de crescimento é alta sendo superada apenas pela espécie chinesa de bambu (*Bambusa vulgaris Schrad*) (FERNÁNDEZ, 2010).

O clima mais indicado é o tropical úmido, com estações seca e chuvosa bem definidas. A precipitação mínima tolerada é em torno de 1500 mm, exceto próximo às margens dos cursos de água. A árvore de Balsa necessita, geralmente, de 1.500 a 3.000 mm de precipitação e temperatura média entre 22 e 27°C (SEDER, 2011).

O Brasil, de maneira geral, apresenta níveis pluviométricos e temperaturas compatíveis com o cultivo. Graças à rusticidade e boa adaptabilidade da planta, são encontrados sítios com ótimas condições de desenvolvimento para o plantio no estado do Mato Grosso e em outras regiões do Brasil (SEDER, 2011).

O solo e clima do local de onde provém a árvore, a classificação botânica, sua fisiologia, a anatomia do tecido lenhoso e a variação química, são fatores preponderantes que influenciam nas características físicas da madeira (HELLMEISTER, 1982).

A densidade da madeira Balsa é influenciada pela oferta de água disponível às árvores, bem como o clima do local. Árvores que crescem em locais mais frios e com menos água disponível, além de demorarem mais para atingir a maturidade, tendem a apresentar densidades acima da média para essa espécie, deixando nesse caso de apresentar o atrativo da leveza (SEDER, 2011).

A Balsa, por se tratar de uma representante da *Bombacaceae* (SEDER, 2011) ou *Malvaceae* (FINGER; LOGSDON; ROCHA, 2012), apresenta grande retenção de água no tronco, podendo apresentar deformações tipo sapopema (SEDER, 2011). Por conta disso, quando seca, esses reservatórios de água ficam vazios, dando lugar ao ar. A Figura 4 apresenta imagens em corte longitudinal e transversal à grã (respectivamente), mostrando os grandes vasos que fazem parte do tecido do xilema responsável pelo transporte de água e sais minerais em volta da árvore. Em torno deles há fibras grandes, feitas de câmaras cheias de ar e formadas a partir de células de esclerênquima. Tais câmaras de ar proporcionam à madeira balsa a sua baixa densidade, em comparação com outras madeiras.

Figura 4 - Seção transversal - Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) da estrutura da Ochroma Pyramidale

Fonte: BORREGA, M.; AHVENAINEN, P.; GIBSON, L. Mechanics of balsa (Ochroma pyramidale) wood. **Mechanics of Materials**, Amsterdam, v. 84, p. 75-90. 2015.

A Balsa é uma madeira de baixa densidade, extremamente leve e tem sido utilizada na recomposição de áreas degradadas de florestas naturais graças ao seu acelerado ritmo de crescimento e boa tolerância à luz solar direta (LORENZI, 1992).

Por ser macia, homogênea e de boa trabalhabilidade, costuma ser utilizada em aeromodelismo, trabalhos manuais, brinquedos e embalagens. Apresenta alta flutuabilidade, o que a qualifica como um bom material para a construção de barcos, bóias e coletes salva-vidas em substituição à cortiça (LOUREIRO; SILVA; ALENCAR, 1979).

Daniels (2013) apresenta valores da densidade da Balsa que pode variar de 100 kg/m^3 a 380 kg/m^3 , sendo a variação mais usual de 120 kg/m^3 a 200 kg/m^3 . Para efeito de uma prévia comparação, o *Pinus Taeda* apresenta densidade média variando de 311 kg/m^3 a 366 kg/m^3 (HIGA; KAGEYAMA; FERREIRA, 1973).

Na Tabela 1, Pacheco (2013) apresenta informações de propriedades mecânicas de madeira Balsa para diferentes densidades.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas da madeira Balsa para diferentes densidades

		Direção das Fibras	Massa Específica (kg/m ³)			
			100	150	200	250
Compressão	σ_u E	paralela	5	12	13	20
		paralela	2300	4100	5300	8000
		perpendicular	75	95	175	260
Tração	σ_u E	paralela	10	14	21	31
		perpendicular	0,65	0,80	0,95	1,30
		paralela	1930	3300	4310	6380
Cisalhamento	τ_u G	paralela	1,00	2,00	2,50	3,25
		paralela	96	166	200	250

Onde: σ_u = Tensão Máxima em mPa, E = Módulo de Elasticidade, τ_u = Tensão de Cisalhamento e G = Módulo de Cisalhamento

Fonte: Adaptado pelo autor de PACHECO, A. **Competição de pontes de madeira balsa**. 2013.

Outra utilização em que a Balsa se torna atrativa é na obtenção de celulose, pois suas fibras são longas e apresenta rendimento celulósico na ordem de 45 a 50%, com fácil branqueamento devido à cor clara da madeira e baixos teores de lignina (LAMPRECHT, 1990).

As propriedades mecânicas da balsa foram modeladas, particularmente na compressão, considerando que sua estrutura é semelhante a um favo de mel (EASTERLING et al., 1982, GIBSON; ASHBY, 1997; VURAL; RAVICHANDRAN, 2003; DA SILVA; KYRIAKIDES, 2007). Segundo estudos feitos por Borrega, Ahvenainen e Gibson (2015) as propriedades mecânicas da madeira Balsa podem atingir valores de até 8 GPa para módulo de elasticidade e 70 MPa para o módulo de ruptura nas maiores densidades (Figuras 5 e 6). Estas propriedades mecânicas relativamente altas da madeira Balsa a torna atraente para utilização como partículas constituintes de painéis OSB.

Figura 5 - Módulo de elasticidade em função da densidade. Linhas e equações pretas sólidas correspondem a ajustes lineares dos dados experimentais. As linhas tracejadas correspondem aos modelos extrapolados para MOE

Fonte: BORREGA, AHVENAINEN & GIBSON (2015).

Figura 6 - Módulo de ruptura em função da densidade. Linhas e equações pretas sólidas correspondem a ajustes lineares dos dados experimentais. As linhas tracejadas correspondem aos modelos extrapolados para MOR

Fonte: BORREGA, AHVENAINEN & GIBSON (2015).

3.2 Painéis de madeira reconstituída

Iwakiri (2005) define painéis de madeira como produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida, reconstituídos por meio de ligação adesiva. Esses painéis surgiram para atender uma necessidade gerada pela escassez e pelo encarecimento da madeira maciça.

A Figura 7 apresenta de forma simplificada um organograma representando os principais tipos de painéis de madeira.

Fonte: Adaptado de Iwakiri (2005) apud Hellmeister (2017).

3.3 Painéis de madeira aglomerada

Os painéis de madeira aglomerada foram criados na Alemanha no início da década de 40, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira face à dificuldade de obtenção de troncos de boa qualidade para a produção de painéis compensados, devido ao isolamento comercial imposto pela Segunda Guerra Mundial. Ao longo da guerra, em razão dos esforços de guerra, a produção alemã de painéis foi paralisada devido à escassez de petróleo e consequentemente de matéria-prima para produção de resinas. A produção de painéis de partículas foi retomada nos EUA após o término da Segunda Guerra Mundial, onde equipamentos e processos produtivos foram aperfeiçoados, tendo grande expansão industrial nos anos 1960 (IWAKIRI, 2005).

Em meados da década de 1970, foi iniciado o processo de desenvolvimento de painéis estruturais dos tipos "waferboard" e "oriented-strand-board" ou OSB (IWAKIRI,

2005). Estes painéis utilizam quase a totalidade das toras, pois agregam na produção as toras finas, tortas, galhadas e em alguns casos, a casca. As únicas partes desprezadas das árvores são folhas e raiz (SILVA, 2006).

No caso dos compensados, Bonduelle e Iwakiri (2006) demonstraram que apenas 48% da tora em média é aproveitada nas operações de laminação. Antes dessa etapa, os autores afirmam ser necessário o arredondamento das toras para possibilitar a delaminação e posterior fabricação de compensados. Esse procedimento já despreza 35 % do volume das toras processadas, os quais são destinados principalmente à caldeira para a geração de energia térmica e co-geração dentro da própria indústria madeireira. As perdas relativas ao rolo resto, em torno de 13%, estão relacionadas principalmente com a qualidade das toras e tipo de equipamento para laminação. Portanto, aproximadamente 50% de toda a madeira utilizada na fabricação de compensados é descartada, na forma de resíduos.

Neste âmbito, a utilização de painel OSB tem crescido e ocupado espaços antes exclusivos dos compensados, em virtude de fatores como redução da disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação, uso de toras de qualidade inferior provenientes de espécies de baixo valor comercial e a largura e o comprimento dos painéis OSB são determinados pela tecnologia de produção e não em função do comprimento da madeira de desdobro, como no caso dos painéis compensados (CLOUTIER, 1998).

3.4 Painel OSB

Os painéis de partículas estruturais OSB (Oriented Strand Board) surgiram em meados da década de 1970 nos EUA e Canadá, como produto de 2ª geração das chapas estruturais “waferboard”. A partir da década de 1980, o uso de painéis OSB foi largamente difundido, resultando no aumento expressivo de novas unidades produtoras em todas as regiões do mundo. No Brasil, a primeira fábrica de chapas OSB iniciou a sua produção em 2002, tendo a capacidade instalada de 350.000 m³/ano no estado do Paraná (IWAKIRI et al., 2004).

O OSB é um painel de partículas de madeira orientadas, finas e longas (strands), consolidadas pelo uso de resinas, calor e pressão (BORTOLETTO JÚNIOR; GARCIA, 2004). Tipicamente formado por três camadas de partículas (Figura 8), sendo que na camada interna o alinhamento é perpendicular à direção de formação do painel, enquanto que nas camadas externas o alinhamento é paralelo (TSOUMIS, 1991).

Figura 8 - Camadas de partículas orientadas (face/miolo/face)

Fonte: (SILVA, 2006).

A geometria das partículas “strand” (Figura 9), com maior relação comprimento/largura, a sua orientação e formação em três camadas cruzadas (face-centro-face) conferem aos painéis OSB maior resistência à flexão estática e melhor estabilidade dimensional (MALONEY, 1993).

Figura 9 - Partículas do tipo “strand” (lascas)

Fonte: (SILVA, 2006).

Os painéis OSB competem com os compensados, que requerem toras de alta qualidade para a sua manufatura e, por isso, são de custo relativamente superior (WALKER, 1993 apud BORTOLETTO JÚNIOR; GARCIA, 2004). A possibilidade do painel OSB ser produzido a partir de toras de qualidade inferior, bem como apresentar menor custo de produção e possuir propriedades suficientes para diversos usos, são fatores que fazem com que os painéis OSB ocupem nichos de mercado antes exclusivos aos compensados (JANSSENS, 1998).

A grande vantagem na produção de OSB está no grau de aproveitamento das toras, sendo que as perdas são mínimas e ocorrem na forma de finos nas fases de geração e secagem das partículas (IWAKIRI et al., 2004).

Janssens (1998) afirma que o painel OSB é um produto utilizado para aplicações estruturais, tais como paredes, suportes para forros e pisos, componentes de vigas estruturais, estrutura de móveis, embalagens, entre outras (Figuras 10a e b).

Figura 10 - (a) Aplicação de painéis OSB como forro; (b) aplicação de painéis OSB como mobiliário

(a)

Fonte: (SURDI, 2012).

No Brasil, a produção do painel OSB em escala industrial (Figura 11) teve início em 2002 (BORTOLETTO JÚNIOR; GARCIA, 2004). A produção de chapas compensadas ainda é muito maior que a de painéis OSB. Estima-se que o mercado brasileiro de compensado possui aproximadamente 200 empresas em operação com capacidade de produção de mais de 4 milhões de m³/ano, enquanto isso, o mercado de painéis OSB possui uma única unidade produtora com capacidade de 384 mil m³/ano (ABRAF, 2013; LP, 2014; VIEIRA; BRITO; GONÇALVES, 2012). Estudos sobre propriedades, bem como a produção e a influência de variáveis de processamento de

painéis OSB, a partir de espécies do gênero *Pinus* plantadas no país, foram realizados por autores tais como Iwakiri (1989), Brito (1995), Mendes (2001), Mendes et al. (2002), Bortoletto Júnior e Garcia (2004), Saldanha (2004) e Iwakiri et al. (2009).

Figura 11 - Painéis OSB comerciais de *Pinus*

Fonte: LP Brasil (<https://www.lpbrasil.com.br>)

Silva (2006) enumera diversas vantagens do OSB em relação aos painéis compensados, dentre elas:

- Melhor aproveitamento das toras de madeira (OSB utiliza 96% contra 56% do compensado), otimizando o custo e proporcionando um produto ecologicamente mais eficiente;
- Possibilidade da utilização de toras mais finas (6 anos para o OSB contra 14 anos para o compensado) e de espécies com menor valor comercial;
- Produtividade maior devido ao processo de fabricação totalmente automatizado, contínuo e em grande escala: a fábrica existente no Brasil utiliza 24 pessoas em 3 turnos para operar uma linha de produção de 350.000 m³/ano, enquanto uma fábrica de compensado necessita de mais de 200 pessoas para produzir em torno 80.000 m³/ano.

Parga (2006) avaliou a viabilidade técnica do emprego de partículas longas e orientadas de bagaço de cana-de-açúcar na confecção de painéis OSB aglomerados com diferentes teores de resina poliuretana à base de óleo de mamona (10 e 20%). Os painéis atingiram propriedades físicas e mecânicas que atenderam aos requisitos da EN 300:2002 para painéis OSB, nas diferentes faixas sugeridas para as aplicações do produto. Porém vale acrescentar que o painel de bagaço de cana com 10% de resina à base de óleo de mamona obteve o melhor desempenho.

Souza (2012) produziu e avaliou o desempenho de painéis OSB confeccionados com *Pinus sp* com inclusão de telas metálicas para um acréscimo nas propriedades de resistência e rigidez na flexão estática. Foi utilizado um teor de resina poliuretana à base de óleo de mamona de 12% e a proporção de massa para as camadas face/ miolo/ face foi de 20:60:20. Os resultados apontaram a eficiência dos painéis OSB quando comparadas suas propriedades com os valores mínimos exigidos pelas normas e valores encontrados na literatura para painéis desta natureza. Porém a utilização da tela metálica se mostrou não necessária.

Bufalino et al. (2015) avaliou a viabilidade de se utilizar e misturar madeiras de *Toona ciliata*, *Eucalyptus grandis/urophylla* e *Pinus oocarpa* na produção de painéis OSB. Foi utilizado o adesivo fenol-formaldeído (PF), a uma proporção de 9% para todos os tratamentos. Utilizou-se uma proporção de massa de 25/50/25% para face/ miolo/ face. A maioria dos painéis OSB não atingiram plenamente aos requisitos especificados pela norma EN 300, para as propriedades físicas e mecânicas. Os painéis OSB fabricados com madeiras de *Eucalyptus grandis/urophylla* e *Pinus oocarpa* têm potencial para serem comercializadas como OSB tipo 1 (utilizados para interiores, mobiliário e ambiente seco) e OSB tipo 2 (utilizado para ins estruturais e ambiente seco), respectivamente. Já para os painéis feitos com madeira de *T. ciliata* na face e madeira de *Eucalyptus grandis/urophylla* no miolo, atenderam aos requisitos estabelecidos para OSB tipo 1.

Ferro et al. (2015) investigou a viabilidade da produção de painéis OSB com partículas de madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) aderidas com resina poliuretana à base de óleo de mamona. Foram avaliados três teores de resina (8%, 10% e 12%). Os painéis atingiram propriedades físicas e mecânicas que atenderam aos documentos normativos nacionais e internacionais. Porém, vale ressaltar que os painéis fabricados com 8% de resina mostraram-se como melhores soluções, por apresentarem melhor desempenho, utilizando menor quantidade de adesivo na confecção dos painéis.

Hellmeister (2017) avaliou painéis OSB (*Oriented Strand Board*) com resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*) proveniente de reflorestamento, aglomerados com resinas uréia-formaldeído (UF), fenol-formaldeído (FF) e poliuretana à base de óleo mamona (PU-Mamona). O autor avaliou painéis de baixa e média densidade, utilizando 8% para as resinas UF e FF e 12% para a resina PU-Mamona. Os resultados obtidos pelo autor demonstraram que os painéis OSB de madeira Balsa residual aglomerados com resina PU-Mamona não atingiram as recomendações para painéis OSB tipo 1, de uso interno e não estrutural da norma europeia EN 300: 2002 – *Oriented Strand Boards (OSB)*

– *Definitions, classification and specifications* para o ensaio de adesão interna. Dessa forma, é importante ressaltar a necessidade de estudar painéis OSB de madeira Balsa residual com outros teores de resina.

3.5 Razão de compactação em painéis OSB

A razão de compactação representa a relação entre a massa específica da madeira e a massa específica do painel, sendo aceitáveis os valores entre 1,3 e 1,6 para que ocorra um contato adequado entre partículas de madeira e a formação da ligação adesiva entre elas (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993).

Segundo Maloney (1993) essa relação define o grau de densificação do material e apresenta considerável influência sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Kollmann, Kenzi e Stamm (1975) apud Surdi (2012) afirmaram que todas as propriedades dos painéis são afetadas pela razão de compactação, em maior ou menor grau. Uma razão de compactação muito baixa prejudica a colagem e a resistência do painel, afetando a absorção de água por permitir maiores espaços para a sua penetração (HILLIG, 2000; HILLIG; HASELIEN, 2002). Já uma razão de compactação elevada caracteriza maior contato entre partículas e adesivo (KELLY, 1977).

No entanto, uma maior razão de compactação do painel, decorrente do uso de madeiras de baixa massa específica, aumenta o inchamento em espessura, prejudicando a estabilidade dimensional dos painéis (MOSLEMI, 1974; TEODORO, 2008). Esta propriedade se destaca em painéis de maior massa específica ou compactação devido a maior quantidade de material lenhoso, resultando na maior liberação de tensões de compressão impostas durante o processo de prensagem (MOSLEMI, 1974).

Estudos desenvolvidos por Castro et al. (2012) com painéis OSB em nível experimental indicam o uso de espécies como o *Pinus oocarpa* com densidade básica de 510 kg/m³ e *Eucalyptus grandis* com densidade básica de 456 kg/m³. Segundo os autores, ambas as espécies, resultaram em painéis OSB com densidades em torno de 800 kg/m³, que excederam as qualidades descritas na norma europeia EN 12369-1: 2001, sendo classificado na classe O-2.

Vila Zegarra (2011) defende que os painéis OSB manufaturados com madeira de baixa densidade apresentam, normalmente, maior resistência à flexão e maior adesão interna das partículas, em relação aos confeccionados com madeira de alta densidade, já que os painéis produzidos com a madeira de menor densidade possuem uma razão de

compactação maior. O autor sugere que a razão de compactação fique entre 1,3 e 1,6 para a adequada densificação e consolidação do painel à espessura final desejada.

Na Tabela 2, Iwakiri et al. (2004) mostra que a razão de compactação é menor para madeiras mais densas. O *Pinus Taeda*, tradicionalmente utilizado em painéis comerciais apresenta uma razão média de compactação na ordem de 1,46.

Tabela 2 - Razões de compactação de acordo com a espécie e densidade do painel comercial.

Espécies	Densidade da madeira (g/cm ³)	Densidade da chapa (g/cm ³)	Razão de compactação
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,61	0,69	1,13
<i>Eucalyptus dunnii</i>	0,78	0,68	0,87
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	0,81	0,69	0,85
<i>Eucalyptus saligna</i>	0,73	0,71	0,97
<i>Eucalyptus citriodora</i>	0,77	0,68	0,88
<i>Eucalyptus maculata</i>	0,76	0,70	0,92
<i>Pinus taeda</i>	0,46	0,67	1,46

Fonte: (IWAKIRI et al., 2004).

Baseando-se nos dados sugeridos por Maloney (1993) e Vila Zegarra (2011) pode-se inferir que com uma taxa de compactação para painéis produzidos com madeiras de baixa densidade seria de no máximo 1,6.

Tais dados ainda poderão sofrer influências do teor de resina, que segundo Vila Zegarra (2011) devem variar entre os limites de 6 a 12%. O teor deverá ser estimado de acordo com o pH encontrado. Os dados fornecidos pelo ensaio de bromatologia deverão também influenciar na porcentagem de resina.

3.6 Parâmetros de produção para painéis OSB

• Massa específica da madeira x massa específica dos painéis

Maloney (1993) afirmou que a massa específica é a variável mais importante relativa à espécie, influenciando as propriedades finais dos painéis.

Partículas de espécies de madeiras mais densas, quando compactadas durante a prensagem, produzem painéis com baixa razão de compactação, comprometendo a qualidade do painel, necessitando assim, alterar outras variáveis do processamento, como aumentar a proporção de resina, o que aumenta o custo de produção (MENDES, 2002).

A massa específica dos painéis de madeira também exerce considerável influência sobre as propriedades físicas e mecânicas. Segundo Moslemi (1974), Maloney (1993) e Mendes (2001) painéis com maior massa específica apresentam maior resistência

mecânica, entretanto a sua estabilidade dimensional é prejudicada. Esses autores atribuem este comportamento à maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, a maior densificação do material durante o processo de prensagem.

Considerando a massa específica da madeira para painéis de mesma densidade, Surdi (2012) relatou que àqueles produzidos com espécies de massa específica mais baixa, apresentam maior resistência à flexão estática e à tração perpendicular. No entanto, essa autora mencionou que o arrancamento de parafuso, a absorção de água e o inchamento em espessura são pouco afetados.

• Geometria das Partículas

A geração de partículas é uma das etapas mais importantes do processo de produção de painéis OSB. As partículas ("*strands*" ou lascas em tradução direta) devem ser produzidas com dimensões aproximadas de 25 mm de largura, 90 a 150 mm de comprimento e 0,50 a 0,75 mm de espessura (IWAKIRI, 2005).

A geometria das partículas, que se refere ao tamanho e tipo da partícula e direção da grã em relação ao eixo longitudinal (MALONEY, 1993), influenciam na produção de painéis. Características importantes derivam da geometria das partículas, sendo elas: o índice de esbeltez, a razão de planicidade e a área superficial específica (MALONEY, 1993).

O índice de esbeltez é um parâmetro importante e exerce influência sobre as características do painel, como por exemplo, a área de contato entre as partículas, as propriedades mecânicas e o consumo de resina.

Já, a razão de planicidade, está estreitamente ligada ao volume relativo de ar do colchão e a área superficial específica também se relaciona com o consumo de resina (SURDI, 2012).

Segundo Maloney (1993) a resistência à flexão, a resistência à tração paralela e perpendicular à superfície e ao arrancamento de parafusos e pregos são influenciadas pelo tamanho das partículas que, além disso, influenciam a absorção de água e de outros líquidos, causando alteração na estabilidade dimensional e modificações superficiais nos painéis.

Partículas longas e finas resultam em maior índice de esbeltez e produzem painéis com maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional (VITAL, 1973). Iwakiri (2005) complementou que o índice de esbeltez, além de influenciar as

propriedades mecânicas e dimensionais, exerce influência sobre a qualidade de acabamento e usinabilidade.

Industrialmente são utilizadas partículas de dimensões maiores na camada interna e partículas menores, ou finas, na camada externa. A utilização de finos na superfície confere melhor acabamento superficial ao painel, visando principalmente melhorar as condições de aplicação de materiais de revestimento (IWAKIRI et al., 2005). Por outro lado, um elevado percentual de finos aumenta o consumo de resina e prejudica a qualidade dos painéis, reduzindo a adesão interna entre as camadas interna e externa do painel. Já painéis fabricados com partículas curtas e espessas aumentam a resistência à tração perpendicular ou adesão interna (FERRO, 2013).

Considerando exclusivamente o tamanho das partículas, Moslemi (1974) e Maloney (1993) afirmaram que partículas menores, devido à maior área superficial requerem maior consumo de resina. Partículas maiores apresentam menor área superficial e, conseqüentemente, maior é a disponibilidade de resina.

Matos (1988) afirma que a geometria das partículas no processo se relaciona com a distribuição de calor, permitindo ou dificultando a transferência de calor através da espessura do painel submetido à prensagem.

A obtenção das partículas tipo "*strands*" é feita com o uso de picadores ou moinhos dos tipos "cilindro" ou "disco".

3.7 Parâmetros normativos para painéis OSB

A norma europeia EN 300:2002 *Aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas (OSB) – Definições, classificação e especificações* define quatro tipos de OSB de acordo com sua resistência mecânica e suas propriedades físicas:

- OSB/1 – Placas para usos gerais e placas para componentes interiores (incluindo mobiliário), utilizadas em ambiente seco;
- OSB/2 – Placas para fins estruturais, utilizadas em ambiente seco;
- OSB/3 – Placas para fins estruturais, utilizadas em ambiente úmido;
- OSB/4 – Placas para fins estruturais especiais, utilizadas em ambiente úmido.

A norma européia (EN 300) também determina os requisitos de valores limites para as propriedades mecânicas de módulo de resistência à flexão e módulo de elasticidade na transversal e longitudinal, adesão interna, adesão interna em água fervente e inchamento

em espessura após 24 horas. Logo, há interesse em desenvolver um material que supra as qualidades de painéis OSB requeridas por norma.

3.8 Instalações avícolas

No meio rural, as instalações avícolas são edificadas com o propósito de proporcionar um espaço que ofereça proteção para os animais contra as intempéries climáticas, proporcionando um ambiente confortável (NÄÄS, 1989).

No entanto, quando o ambiente do aviário não é confortável para as aves, menores serão os índices zootécnicos da produção e consequentemente menor a rentabilidade aos produtores. Segundo Michelan Filho e Mendonça de Souza (2004), isso ocorre, porque a maioria das características de importância econômica na avicultura de corte é governada por vários pares de genes com pequenos efeitos aditivos, ou seja, o fenótipo de uma determinada característica produtiva é resultante do valor genotípico, meio ambiente e interação entre esses dois fatores.

Segundo Baêta e Souza (2010) o ambiente térmico no interior dos aviários está atrelado a diversos fatores, tais como: as condições locais externas em relação ao aviário, as dimensões construtivas empregadas durante a edificação do aviário, às propriedades térmicas dos materiais utilizados na confecção da instalação, a densidade animal e o manejo.

Dentre os fatores acima mencionados, é de extrema importância o conhecimento das propriedades térmicas dos materiais empregados na edificação dos aviários, visto que, segundo estes pesquisadores, quando o ambiente interno de uma instalação zootécnica não é controlado por meios artificiais, os materiais influenciam na temperatura interna, afetando assim no conforto destes animais alojados no interior desta instalação.

Dessa forma, sabendo-se da relevância que os materiais representam no âmbito econômico, torna-se necessário antes da construção de um aviário, realizar um planejamento minucioso que considere a correta seleção dos materiais que irão compor a edificação. Nessa fase, segundo Al-Homoud (2005) é importante conhecer as propriedades térmicas dos materiais que serão utilizados nas instalações, uma vez que o desempenho térmico do ambiente interno é influenciado pela absorção e emissão de calor dos materiais.

Vale ressaltar, que além da contribuição térmica e do custo dos materiais durante a fase de planejamento, outras características também devem ser averiguadas. De acordo com Nääs (1989), além das características térmicas, deve-se compreender sobre as

propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade dos materiais, pois somente assim é possível garantir segurança quantos aos esforços que serão submetidos.

Nesse contexto, torna-se necessário buscar materiais que possam ser incorporados aos galpões avícolas e que atendam aos requisitos expostos. Uma alternativa está na aplicação de um forro que atue como barreira térmica.

3.8.1 Coberturas em instalações avícolas

A insolação é o principal fator que contribui com o desconforto térmico para aves de corte. A cobertura é o elemento construtivo que separa as aves da radiação solar direta. Assim, quando a energia solar incide sobre a cobertura ela pode ser refletida, absorvida ou transmitida, em quantidades que dependem das propriedades dos materiais que a compõem. Essa energia radiante, quando absorvida pelas coberturas, se transforma em energia térmica, sendo que parte pode ser transmitida à superfície oposta através da condução (MORAES et al., 1999). Essas informações estão ilustradas na Figura 12.

Figura 12 - Esquema da radiação solar transmitida para uma instalação avícola

Fonte: Cravo et al. (2015)

Dessa forma, a cobertura dos aviários, uma das técnicas das modificações primárias, exerce influência direta na quantidade de energia que é inserida para o interior da instalação, sendo que a quantidade de energia emitida está diretamente relacionada com suas propriedades térmicas (condutividade térmica, resistência térmica, absorvância, refletividade, difusividade e emitância). Assim, diversas pesquisas foram efetuadas a fim

de diagnosticar um material de cobertura que possa balizar a quantidade de energia transmitida para o interior dos aviários.

Nesse âmbito, Sevegnani, Ghelfi Filho e Silva (1994) estudaram o comportamento térmico de diferentes materiais de cobertura (telha cerâmica, telha cimento-amianto, telha térmica, telha de zinco, telha de alumínio e telha de fibra de vidro) na região de Piracicaba. Para testar a eficiência desses materiais, os autores quantificaram o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) e Carga Térmica Radiante (CTR). Os autores constataram que no dia crítico (dia de maior entalpia), a cobertura com telha cerâmica apresentou melhor desempenho térmico que as demais.

Nessa mesma linha de pesquisa, Jácome et al. (2007) avaliaram utilizando como parâmetro o ITGU, o desempenho térmico de galpões para aves de postura (fase de recria) na região da Paraíba. De acordo com os autores, os aviários apresentavam dimensão idêntica, sendo variado o tipo de material de cobertura (telha cerâmica e telha de cimento amianto). Para ambos os tipos de coberturas, os pesquisadores diagnosticaram nos horários mais quentes do dia (14h e 16h), valores de ITGU acima do recomendado para conforto térmico (75), caracterizando assim em ambientes desconfortáveis. Embora Sevegnani, Ghelfi Filho e Silva. (1994) tenham constatado melhor desempenho para cobertura cerâmica, o mesmo não foi identificado por Jácome et al. (2007), pois em todos os horários avaliados os autores não diagnosticaram diferença estatística entre as coberturas.

Na tentativa de buscar alternativas menos agressivas ao ambiente e para saúde do trabalhador, Conceição et al. (2008) compararam o desempenho térmico (ITGU) de telhas de escória de alto forno e fibras vegetais (cobertura composta) com a cobertura cerâmica e cimento amianto (pintada com tinta reflexiva) na região de Piracicaba. Os pesquisadores constataram que a cobertura de cimento amianto apresentou significativamente melhor desempenho térmico devido ao efeito da refletividade da pintura. Já a cobertura composta exibiu comportamento intermediário, enquanto que a cerâmica demonstrou pior desempenho.

Outra tentativa em reduzir a transmissão de calor para o interior de protótipos de aviários foi investigado por Fiorelli et al. (2008) que testaram a eficiência térmica (ITGU) de instalação rural coberta com telha reciclada à base de embalagens de longa vida e compararam seu desempenho com edificações similares cobertas com telha de cimento amianto, telha cerâmica e telha cerâmica pintada de branco na cidade de Dracena. Para todas as coberturas estudadas, os autores não constataram diferenças significativas entre

elas. Além disso, todos os ambientes averiguados pelos pesquisadores apresentaram condições térmicas de perigo e emergência para as aves.

3.8.2 Forro em instalações avícolas

Conforme descrito anteriormente, a cobertura é o elemento construtivo que mais influência o microclima interno dos aviários. Além disso, muitas vezes, dependendo da região do Brasil, os materiais de cobertura empregados nas instalações avícolas não são suficientes para assegurar condições climáticas adequadas para o desenvolvimento de aves de corte, tornando necessária adição de novas técnicas.

Dessa forma, para atenuar o alto fluxo de calor advindo da cobertura, produtores utilizam o forro (modificação ambiental primária), que segundo Tinôco (2001), atua como uma segunda barreira física, permitindo assim a formação de uma camada de ar móvel junto à cobertura, contribuindo com a redução de transferência de calor para o interior dos aviários, uma vez que o ar possui baixa condutividade térmica. O esquema da Figura 13 ilustra essa condição.

Figura 13 - Esquema de condução da radiação em instalação avícola provida de forro

Fonte: Cravo et al. (2015)

A magnitude dessa técnica é relatada no trabalho de Cravo (2010), o qual avaliou qualitativamente instalações avícolas de uma integradora residente no estado de São Paulo. Em um dia típico de verão, o pesquisador constatou aves mortas em aviários sem forro, mesmo com o funcionamento dos ventiladores e os aspersores (Figura 14 a). Segundo o autor, aves mortas por estresse térmico apresentam coloração escura na fibra peitoral (Figura 14 b), possivelmente devido ao desequilíbrio fisiológico (aumento da temperatura interna) em que o organismo não consegue manter a homeostasia, resultando assim na morte celular e na alteração da coloração.

Figura 14- Mortalidade de aves de corte em aviários sem forro: (a) aves mortas por estresse térmico. (b) necropsia de uma ave morta por estresse térmico

Fonte: CRAVO, J. C. M. **Relatório de Estágio Supervisionado – Integradora no Estado de São Paulo**. Universidade Estadual Paulista – Dracena. São Paulo, p. 190, 2010.

Sabendo da importância de utilizar uma segunda barreira física (forro), Oliveira et al. (2000) avaliaram o efeito do uso de isolante térmico (foil de alumínio em ambas as faces), como forro sob cobertura de telha de cimento amianto, no desempenho de frangos de corte, na região de Jaboticabal. Os autores encontraram menores valores para temperatura interna e CTR no aviário com forro. Para os índices zootécnicos, os melhores valores foram constatados no aviário com forro, sendo que esse possibilitou um aumento de 4,7% na produção por área.

Abreu et al. (2007) estudaram a condição térmica e o desempenho de aves criadas em aviário localizado na região sul do Brasil, cobertos com telha de cimento amianto sem e com forro de polietileno. Os autores encontraram menores valores de índices de conforto térmico (ITGU e CTR) e melhores resultados zootécnicos para os aviários com forro.

Gomes et al. (2006) avaliaram o conforto térmico de três abrigos em modelos reduzidos em Anápolis-GO, sendo um cobertor com telha de bambu e forro à base de embalagens longa vida e os outros dois cobertos com telha de fibrocimento e telha de bambu. Os autores diagnosticaram menores valores de CTR e ITGU para o abrigo com telha de bambu e forro à base de embalagens de longa vida, enquanto que o abrigo com apenas telha de bambu foi menos eficiente.

Camerini et al. (2009) estudaram o efeito do forro de EVA (Etileno-Acetato de Vinila) sob a cobertura com telha de alumínio, no período de verão e inverno em protótipos localizados na região de Campina Grande. Em ambos os períodos, foram aferidos menores valores de ITGU nos modelos reduzidos dotados com forro.

Carvalho (2013) investigou o efeito do forro em protótipos experimentais executados em escala reduzida, na região de Viçosa. Nesse estudo, o autor avaliou a eficiência térmica do forro polietileno (material utilizado como cortina nos aviários) e forro Foamular (Poliestireno Extrudado) com base na temperatura interna. O pesquisador constatou que o forro de polietileno e Foamular reduziram a temperatura em 2 e 4°C, respectivamente, quando comparado aos protótipos experimentais sem forro.

Barbirato et al. (2015) avaliou o desempenho térmico de bezerreiros cobertos com telhas de fibrocimento e forro ecológico de subprodutos agroindustriais associado a materiais isolantes. Os pesquisadores constataram que o índice de temperatura e umidade (ITU) e a temperatura ambiente interna das instalações com forro ecológico associado a placas de isopor® e PU-Mamona foram inferiores, 2,69% e 1,88% respectivamente, àquelas aferidas em bezerreiros desprovidos de forro.

Cravo (2015) avaliou o desempenho térmico de painéis revestidos com embalagem longa vida aplicados como forro em um protótipo de aviário. Os dados foram coletados num total de 15 dias na estação de primavera de 2014, verão, outono e inverno de 2015. Foram determinados a temperatura interna do protótipo, entalpia e o índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte (IAPfc). O autor constatou para temperatura interna na estação da primavera, valores de 28,24 e 29,38°C e na estação do verão, valores de 29,45 e 31,05°C para os ambientes com forro e sem forro, respectivamente. Nos índices de conforto térmico (entalpia e IAPfc) o autor constatou para entalpia no interior dos protótipos, na estação de primavera, valores de 65,50 e 67,06kJ/kg de ar seco e na estação do verão, valores de 69,83 e 73,90kJ/kg de ar seco para os ambientes com forro e sem forro, respectivamente. Para o IAPfc o autor obteve como resultados, na primavera, valores de 29,21 e 30,74 e no verão, valores de 31,69 e 34,61 para os ambientes com forro e sem forro, respectivamente. Portanto, todas as análises feitas pelo autor mostraram que, houve diferença estatística entre o protótipo provido de forro em comparação com o protótipo desprovidos de forro.

Castro Júnior et al. (2017) estudou condições de conforto térmico em dois modelos de instalações individuais para bezerros cobertos com telha de fibrocimento sem forro e com forro de chapas de partículas de baixa densidade de subprodutos agroindustriais (40% de bagaço de cana-de-açúcar e 60% de maravalha de *Pinus sp.*) aglomerados com resina PU-Mamona. Os pesquisadores constataram que houve uma redução na temperatura ambiente interna das instalações com forro, em relação àquelas aferidas em bezerreiros desprovidos de forro.

Portanto, o emprego do forro sob a cobertura em instalações rurais demonstra ser uma tecnologia eficiente para proporcionar microambiente confortável, principalmente frente às mudanças climáticas que ocorrerão no Brasil nas próximas décadas.

3.9 Adesivo

Com a segunda guerra mundial, outras resinas foram desenvolvidas, como a resorcinol formaldeído e as primeiras resinas poliuretanas, quando o Dr. Otto Bayer, cientista que por mais de 1930 anos chefiou o departamento de pesquisas da empresa BAYER, descobriu o processo de poliadição dos poliisocianatos, princípio básico da fabricação desses produtos (BAYER, 1947).

Posteriormente, com a evolução da química de macromoléculas, uma grande variedade de resinas poliméricas, com melhores características quanto ao seu aspecto de adesão, foi desenvolvida, possibilitando grande expansão das indústrias de resinas à base vinílica, de poliéster, poliuretana etc (MANTILLA CARASCO, 1984).

Segundo Jesus (2000) no início da década de 1980 importante contribuição nacional foi dada no estudo de resina à base poliuretana, pelo Departamento de Química e Física Molecular, do atual Instituto de Química da USP de São Carlos. Os pesquisadores do Grupo de Química Analítica e Tecnologia de Polímeros desenvolveram uma resina poliuretana que possui várias vantagens, como: manipulação em temperatura ambiente, grande resistência à ação da água e de raios ultravioleta, grande resistência mecânica e ser oriunda de uns recursos naturais renovável, cuja matéria-prima (mamona) de fácil adaptação climática é encontrada em todo território nacional.

Existe uma tendência mundial para o uso de materiais biodegradáveis, não-poluentes e naturais. De acordo com Araújo (1992), esta tendência avançou as pesquisas na área de resina poliuretana, com a descoberta da poliuretana derivada de óleo de mamona, ampliando, assim, novas perspectivas para a sua aplicação. Conhecida internacionalmente como “Castor Oil” e, no Brasil, por Caturra, a mamona (*Ricinus communis*) é uma planta da família das euforbiáceas, de onde é extraído o óleo ricinoléico, como subproduto da mamona, também denominado popularmente óleo de mamona. A planta que origina este óleo é encontrada com abundância em todo território nacional e, principalmente, nas regiões tropicais e subtropicais do Brasil.

A partir do óleo de mamona é possível sintetizar polióis e pré-polímeros com diferentes características que, quando misturados, dão origem a uma poliuretana. Esta mistura polioliol pré-polímero à base de mamona, a frio, ocasiona uma reação de

polimerização da mistura. Esta reação dá origem à formação da resina poliuretana, podendo-se variar a relação de quantidade de polioliol, obtendo-se, com isso, uma maior ou menor flexibilidade e empregando o catalisador adequado com objetivo de aumentar a velocidade de reação do bi-componente.

A resina poliuretana à base de óleo de mamona é do tipo bicomponente, composta pelo polioliol B1640 e pelo pré-polímero A249, de cura a frio. Após mistura dos componentes, sua viscosidade aumenta e seu tempo de aplicabilidade é próximo de 20 minutos.

3.10 Conclusões da revisão

Atualmente o Brasil gera uma grande quantidade de biomassa florestal residual (aproximadamente 35 milhões de m³/ano), ou seja, resíduos não aproveitáveis no setor florestal. Um destes resíduos é a madeira Balsa.

A madeira Balsa (*Ochroma pyramidale*) é uma madeira de baixa densidade (100 kg/m³ a 380 kg/m³), extremamente leve e tem sido utilizada na recomposição de áreas degradadas de florestas naturais graças ao seu acelerado ritmo de crescimento (18 a 25 m em aproximadamente 7 anos) e boa tolerância à luz solar direta.

Uma alternativa para aproveitamento deste resíduo é a confecção de painéis de partículas aglomeradas com resina orgânica e inorgânica.

Existem muitas categorias de painéis de madeira reconstituída, uma destas categorias são os painéis de partículas orientadas (OSB), que tem crescido e ocupado espaço no mercado dos painéis compensados.

Existe um apelo ambiental para a busca de novas alternativas de resinas que não são prejudiciais ao meio ambiente e diminuam o impacto ambiental. A resina poliuretana à base de óleo de mamona é uma resina oriunda de recursos naturais renováveis, sua matéria-prima (mamona) é de fácil adaptação climática e não emite gases tóxicos para a atmosfera. Como o custo desta resina ainda é um pouco alto, é importante otimizar o uso desta resina na confecção de painéis.

Outro apelo é sobre o bem-estar dos animais, várias pesquisas vêm buscando melhorias nos parâmetros fisiológicos dos animais. Para isso acontecer, as condições climáticas são um dos fatores cruciais para o desenvolvimento animal. Novos elementos construtivos são apresentados ano a ano e uma maneira de minimizar o estresse térmico é criando uma barreira radiante, como por exemplo um forro, localizado abaixo da cobertura da instalação.

O emprego do forro sob a cobertura em instalações rurais demonstra ser uma técnica eficiente para proporcionar microambiente confortável, principalmente frente às mudanças climáticas que ocorrem ao longo dos anos.

4 METODOLOGIA

Esse capítulo apresenta as etapas e os métodos que foram utilizados para a execução do projeto de pesquisa.

4.1 Fases do projeto

O projeto foi executado seguindo as três fases:

Primeira fase

- Avaliar o potencial da madeira Balsa residual como matéria-prima para produção de painéis OSB por meio de ensaios físico-químicos (densidade real, densidade aparente, pH, teores de lignina e celulose, hemi-celulose e extrativos) e microestruturais (MEV);

Segunda fase

- Produzir painéis OSB com partículas de madeira Balsa residual aglomerados com resina poliuretana à base de óleo de mamona de baixa densidade (300 kg/m^3 e 400 kg/m^3) e espessura de 10 mm, variando o teor de resina (11% e 15%);

A Tabela 3 apresenta o plano experimental e os diferentes tratamentos e proporções de resina que serão estudados na segunda fase do projeto (painéis OSB planos). Será utilizado uma proporção de partículas nas camadas face/miolo/face de 25:50:25.

Tabela 3 - Plano experimental.

Tratamento	Número de Painéis	Densidade (kg/m^3)	Espessura (mm)	Resina (%)
T1	04	300	10	11
T2	04	300	10	15
T3	04	400	10	11
T4	04	400	10	15

Fonte: Própria autoria.

- Caracterizar por meio de ensaios térmico, físico e mecânico (condutividade térmica, densidade aparente, inchamento em espessura, absorção de água, flexão estática 3 pontos, adesão interna e arrancamento de parafuso face e topo) e microestruturais (MEV) dos painéis OSB fabricados com partículas de madeira Balsa residual;

- Caracterizar por meio de ensaios mecânicos (flexão estática de 4 pontos e baixa velocidade de impacto) e ensaio de profilometria (escaneamento) dos painéis OSB virgens e impactados, estes foram realizados na Universidade de Roma “Sapienza” – Itália.

- Comparar os resultados experimentais obtidos em relação às propriedades físico-mecânicas de painéis OSB estabelecidas pelos documentos normativos EN 300:2002 *Aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas (OSB) – Definições, classificação e especificações* e ABNT NBR 14810:2013 - *Painéis de partículas de média densidade Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio*, e selecionar a melhor formulação para a terceira fase.

Terceira fase

- Avaliar o ambiente interno de protótipos de aviários providos de forro de painéis OSB de baixa densidade de madeira Balsa residual e comparar com resultados aferidos em protótipo sem forro.

A Figura 15 apresenta um fluxograma sumarizado desse projeto de pesquisa e abaixo dessa figura são apresentadas informações descritivas de cada fase.

Figura 15 - Fluxograma do projeto de pesquisa

Fonte: Própria autoria.

4.2 Material

4.2.1 Coleta da matéria-prima

As madeiras utilizadas na produção dos painéis de partículas orientadas (OSB) de madeira Balsa são oriundas do processamento de toras de uma empresa especializada no ramo aeronáutico, situada no município de Santa Cruz da Conceição-SP. O resíduo consiste em partes da tora impossíveis de serem delaminadas como o fuste e o rolo-resto, bem como galhos grossos, blocos de menor dimensão e eventuais pedaços com casca. A Figura 16 ilustra esse material.

Figura 16 - Amostra de resíduos de Balsa coletados na empresa de ramo aeronáutico em Santa Cruz da Conceição – SP

Fonte: Própria autoria.

Após a coleta da matéria-prima, esta passou por um processo de uniformização em serra de fita para poder ser inserida no bocal do moinho de lascas (Figura 17a), pois o bocal apresenta dimensões definidas (9,5cm de comprimento e 6,5 cm de altura). Posteriormente a obtenção das partículas em lascas (“*strands*”), foram inseridas em uma estufa durante 48 horas, a 65°C, a fim de que as partículas atingissem a mesma umidade (Figura 17b).

Figura 17 - (a) Moinho de lascas (b) Estufa com as lascas.

Fonte: Própria autoria.

A resina utilizada foi a poliuretana à base de óleo de mamona, tipo bi-componente: onde o componente A é o polioli preparado da mamona e o componente B sendo o pré-polímero petrolífero. Quando misturados estes componentes originam um polímero de resistência elevada e propriedades iguais as resinas tradicionais. O tempo de reação para a formação do polímero é de 25 minutos, tempo suficiente para o processo de fabricação. Foi utilizado o traço na proporção 1:1, sendo uma parte de pré-polímero e uma parte de polioli (Figura 18). Estes componentes foram fornecidos pela Plural Química de São Carlos-SP.

Figura 18 - Resina: polioli (fase clara) e catalisador (fase escura)

Fonte: Própria autoria.

4.3 Métodos

Esse capítulo relata a metodologia empregada na primeira fase, que consistiu na caracterização físico-química e microestrutural das partículas de madeira Balsa, segunda fase, a caracterização termo-físico-mecânica dos painéis OSB de madeira Balsa aglomerados com resina poliuretana à base de óleo de mamona, e terceira fase, avaliar o desempenho térmico do painel OSB quando aplicado como forro em protótipo de aviário.

4.3.1 Primeira fase - Caracterização da madeira Balsa

4.3.1.1 Densidade real das partículas

Para obter a densidade real das partículas, uma amostra de lascas de madeira Balsa foi transferida para o multipicnômetro a gás hélio (ULTRAPYCNOMETER). Nesse ensaio, para a mesma amostra, foram realizadas oito mensurações até atingir o desvio de $\pm 0,002$ (Figura 19). O ensaio de densidade real permite analisar a massa de madeira contida na amostra, posteriormente, influenciando nas propriedades físicas do painel.

Figura 19 - Multipicnômetro com porta amostra

Fonte: Própria autoria.

4.3.1.2 Determinação do pH

Para determinação do pH, modificou-se a metodologia descrita por Vital (1973), que consistiu em secar em estufa a (103 ± 2) °C lascas de madeira de balsa até peso constante. A seguir foram pesadas amostras contendo 15 g do material, que ficaram imersos em água ionizada por três horas (Figura 20a), à temperatura de 22 °C. Em seguida, empregando-se um pHmetro digital, até ele se estabilizar, foi feita a determinação do pH (Figura 20b). Foram realizadas duas medições no extrato puro. Este ensaio é importante pois sabendo o pH da madeira este pode influenciar na interação com a resina, consequentemente, na adesividade do painel.

Figura 20 - (a) Lascas de madeira Balsa imersas em água ionizada; (b) aplicação do pHmetro digital

(a)

(b)

Fonte: Própria autoria.

4.3.1.3 Análise química das partículas de madeira Balsa

A propriedade química da matéria-prima utilizada na fabricação de painéis de partículas orientadas (OSB) denota ser um ponto relevante para compreender o comportamento físico-mecânico dos painéis, pois segundo Zhang e Hu (2013) propriedades como densidade e resistência à tração das fibras estão relacionadas com sua estrutura interna e composição química das fibras.

Assim, sabendo-se da importância que existe entre a composição química das fibras com a propriedade dos painéis a determinação dos componentes químicos foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Van Soest (1994). Este método pressupõe que os constituintes da planta podem ser divididos em celulares (lipídios,

compostos nitrogenados, gorduras, amido e outros compostos solúveis em água) e os teores das paredes celulares (proteína insolúvel, hemicelulose, celulose e lignina). O método Van Soest inicialmente consiste em separar os conteúdos celulares da parede celular. Isto é feito aquecendo a amostra numa solução de detergente neutro. O conteúdo celular se solubiliza no detergente, enquanto a parede celular não permite a separação por filtração. As frações resultantes, denominadas soluções solúveis em detergente neutro, são compostas por proteínas, nitrogênio não proteico (NPN), lipídios, pigmentos, açúcares, ácidos orgânicos e pectina, fibra de detergente neutro (NDF), constituída principalmente por celulose, hemicelulose e lignina. A fibra é então aquecida em detergente ácido, permitindo a solubilização de celulose e hemicelulose, que pode então ser separada da lignina ligada à celulose (lignocelulose) por filtração (SALMAN et al., 2010).

4.3.1.4 Caracterização microestrutural (MEV) das partículas de madeira Balsa

A análise microestrutural das partículas de madeira Balsa possibilitou identificar sua morfologia como a organização e formato das fibras e dos vazios. Essas informações são importantes para verificar o potencial da madeira Balsa como matéria-prima para a fabricação de painéis de partículas, comercialmente produzidos com Pinus ou Eucalipto.

Esta análise foi efetuada no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), marca Hitachi modelo Analytical Table Top Microscope TM3000. Para a aquisição das imagens foi utilizado a técnica de elétrons retroespalhados, com aumentos da ordem de 50x, 200x, 500x e 1000x, o que possibilitou identificar a anatomia dos poros e espessura da parede fibrilar (Figura 21).

Figura 21 - Microscópio Eletrônico de Varredura

Fonte: Própria autoria.

4.4 Segunda fase - Produção e caracterização dos painéis OSB

4.4.1 Produção dos painéis OSB

Após o período de secagem das partículas em estufa (48 horas a 65°C) e do peneiramento para remoção dos finos (lascas menores de 9 cm de comprimento) (Figura 22a) foi elaborado os cálculos para averiguar a quantidade de massa necessária para produzir os painéis de partículas orientadas (OSB) com densidade de 300 kg/m³ e 400 kg/m³. Para mensurar o volume do material foram utilizados parâmetros do colchão formador do painel (400 x 400 mm) e a espessura do painel a ser produzido de 10 mm. Fixada a quantidade de massa necessária para cada painel, às partículas foram pesadas utilizando uma balança eletrônica (AY220). Os teores de resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona empregados para fabricar os painéis OSB foram de 11% e 15%, com base na massa de partículas do painel. A proporção de catalisador e poliol foi de 50:50.

Determinado a quantidade de partículas, essas foram remetidas para um recipiente de 35 l, para a aspersão da resina com o propósito de inserir a resina sem degradar as lascas de madeira Balsa. Posteriormente, as partículas com resina foram direcionadas para a distribuição das camadas (proporção de 25:50:25) em três recipientes de 35 l. Feito isso, cada camada era inserida no molde orientador de painel com dimensão de 400 x 400 mm (Figura 22b). A cada camada inserida, era feita a mudança de direção do orientador, para orientar as partículas (face perpendicular com o miolo). As chapas de aço da prensa termo-hidráulica foram revestidas com papel teflon, para evitar uma possível aderência entre as partículas com as chapas da prensa. Em seguida, o material foi pré-prensado manualmente e inserido em uma prensa termo-hidráulica (Figura 22c), com limitadores de metal (10 mm) para limitar a espessura desejada, a uma temperatura de 100°C, durante um período de 10 minutos de prensagem, com pressão média de 5 MPa, para formação do painel. Concluído a prensagem, os painéis OSB foram dispostos à temperatura ambiente por 72 horas, período em que ocorreu a continuação do processo de cura da resina (Figura 22d).

Figura 22 - Processo de produção dos painéis OSB. A) Lascas (“strand”) de madeira balsa. B) Molde orientador de partículas. C) Colchão de partículas orientadas na prensa termo-hidráulica. D) Painel de partícula OSB de madeira balsa

Fonte: Própria autoria.

4.4.2 Propriedades físicas

Para realizar a caracterização física dos painéis de partículas OSB foram adotadas as recomendações da norma europeia EN 300:2002.

4.4.2.1 Densidade aparente

Para a determinação da densidade das chapas foram retirados das mesmas, corpos-de-prova de formato quadrado, com os lados medindo 50 mm nominais, de acordo com o documento normativo EN 323-1993. Se necessário, os corpos-de-prova devem ser condicionados até obter-se uma massa constante a uma umidade relativa de $(65 \pm 5) \%$ e a uma temperatura de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Considera-se massa constante quando os resultados de duas pesagens sucessivas, efetuadas com pelo menos 24 horas de intervalo, não diferem mais de 0,1% em relação à massa do corpo-de-prova.

Os corpos-de-prova foram inicialmente pesados em uma balança eletrônica (AY220) e com o auxílio de um paquímetro foram medidas sua espessura t , medida no ponto de encontro de suas diagonais e as dimensões b_1 e b_2 , em 2 pontos, paralelamente às bordas do corpo-de-prova. A densidade é calculada através da equação (1):

$$\rho = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \times 10^6 \quad (1)$$

Onde:

ρ = densidade (g/mm³)

m = massa (g);

t = espessura (mm);

b_1 e b_2 = dimensões das bordas (mm).

4.4.2.2 Absorção de água 2 horas e 24 horas

Para a determinação da absorção de água, após a imersão das chapas em água destilada por 2 horas e 24 horas, foram retirados das mesmas corpos-de-prova de formato quadrado com (50 ± 1) mm de aresta, de acordo com o documento normativo EN 317-1993.

Foram feitas as pesagens dos corpos-de-prova, com o auxílio de uma balança analítica (AY220) (Figura 23), antes e após a sua imersão em água limpa, com pH 7 ± 1 e temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e estes devem permanecer cobertos por 25 ± 5 mm de água durante 2 horas e 24 horas. A absorção de água é dada em porcentagem e calculada através da equação (2):

$$Am = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

Am = absorção de água 2 h e 24h (%);

m_1 = massa inicial (g);

m_2 = massa final após 2 h e 24h (g).

Figura 23 - Pesagem do corpo-de-prova após absorção de água

Fonte: Própria autoria.

4.4.2.3 Inchamento em espessura 2 horas e 24 horas

Para a determinação de inchamento em espessura, após a imersão das chapas em água destilada por 2 horas e 24 horas, foram retirados das mesmas corpos-de-prova de formato quadrado com (50 ± 1) mm de aresta, de acordo com o documento normativo EN 323-1993.

Foram medidas as espessuras dos corpos-de-prova, com o auxílio de um paquímetro (Figura 24), na intersecção das diagonais antes e após a sua imersão em água limpa, com pH 7 ± 1 e temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e estes devem permanecer cobertos por 25 ± 5 mm de água durante 2 horas e 24 horas. O inchamento em espessura dado em percentagem é calculado através da equação (2):

$$Gt = \frac{t2 - t1}{t1} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

Gt = inchamento em espessura 2 h e 24h (%);

t1 = espessura inicial (mm);

t2 = espessura final após 2 h e 24h (mm).

Figura 24 - Ensaio de inchamento em espessura

Fonte: Própria autoria.

4.4.2.4 Análise estatística

Os valores obtidos para as propriedades físicas foram avaliados pela estatística descritiva, com o propósito de organizar os resultados. Como medida de tendência central foi adotada a média aritmética e, como medida de dispersão, o coeficiente de variação.

Após a análise descritiva, os dados foram submetidos a uma análise inferencial para diagnosticar a existência de diferença significativa entre os tratamentos estudados. Foi realizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC) e os dados comparados pelo teste de comparação múltipla (Tukey) quando a ANOVA for significativa, sendo ambos testados a $p < 0,05$.

4.4.3 Propriedades mecânicas

Para realizar as caracterizações mecânicas dos painéis de partículas OSB planos foi adotada as recomendações da norma europeia EN 300:2002.

4.4.3.1 Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE)

Para a determinação do módulo de elasticidade (MOE) e resistência (MOR) à flexão estática das chapas, foram retirados das mesmas corpos-de-prova de formato retangular, com a largura igual a (50 ± 1) mm, de acordo com o documento normativo EN 310:2006. O comprimento deve ser igual a 20 vezes a espessura nominal mais 50 mm, com um comprimento máximo de 1050 mm e um mínimo de 150 mm. A espessura deve ser medida no ponto de interseção das diagonais e a largura, na metade do comprimento. A amostragem e o corte dos corpos-de-prova devem ser efetuados de acordo com as

prescrições do documento normativo EN 326-1:1994, sendo necessárias séries de corpos-de-prova nas duas direções, longitudinal e transversal.

Os mesmos foram condicionados até o peso constante, sob umidade relativa de $(65 \pm 5) \%$ e uma temperatura de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, sendo que se considera peso constante quando os resultados de duas pesagens sucessivas, efetuadas com pelo menos 24 horas de intervalo, não diferem mais de 0,1% em relação ao peso inicial do corpo-de-prova.

Os corpos-de-prova foram bi apoiados, a força foi aplicada pontualmente e o instrumento utilizado para medir a flecha deve ter sensibilidade de 0,1 mm. Regula-se a distância entre os centros de apoio, de 20 vezes a espessura nominal da placa, sem que ela seja inferior a 100 mm e superior a 1000 mm e mede-se a distância entre os centros de apoio, com a aproximação de 0,5 mm.

Colocam-se os corpos-de-prova na horizontal, sobre os apoios, com o seu eixo longitudinal perpendicular aos eixos dos apoios com o ponto central sobre a força. Aplica-se a força à velocidade constante e regula-se a velocidade do ensaio de modo que a força de ruptura seja atingida em $(60 \pm 30) \text{ s}$.

Mede-se a flecha no ponto médio do vão do corpo-de-prova, em função das forças correspondentes medidas com uma precisão de 1% do valor medido. Se a flecha for determinada por leituras sucessivas, utilizar pelo menos seis pares de leitura. Registra-se a força de ruptura com precisão de 1% do valor medido.

Os ensaios foram efetuados sobre dois grupos de corpos-de-prova retirados segundo as duas direções da placa, isto é, segundo o sentido longitudinal e o transversal (Figura 25). Em cada grupo, ensaiou-se metade dos corpos-de-prova com a face superior para cima e a outra, com a face inferior para cima.

Figura 25 - Ensaio de flexão: (a) e (b) corpos de prova em ensaio

Fonte: Própria autoria.

O Módulo de Elasticidade na flexão estática (MOE) é calculado através da equação (4). Para cada grupo de corpos-de-prova tirados de um mesmo painel, ele consiste na média aritmética dos módulos de elasticidade na flexão dos corpos-de-prova considerados e deve ser expresso com três algarismos significativos.

$$MOE = \frac{(P_1 * D^3)}{d * 4 * B * (E)^3} \quad (4)$$

Onde:

MOE = módulo de elasticidade, em MPa;

P₁ = carga no limite proporcional, em N;

D = distância entre apoios do aparelho, em mm;

d = deflexão, expressa em mm, correspondente à força P;

B = largura do corpo-de-prova, em mm;

E = espessura, em mm.

A resistência à flexão (MOR) de cada corpo-de-prova, dada em N/mm² ou MPa, é calculada pela Equação (5). Para cada grupo de corpos-de-prova retirados da mesma placa, ela consiste na média aritmética das resistências à flexão dos corpos-de-prova considerados e é expressa com três algarismos significativos.

$$MOR = 1,5 * \frac{(P * D)}{B * (E)^2} \quad (5)$$

Onde:

MOR = módulo de ruptura, em MPa;

P = carga de ruptura, em N;

D = distância entre apoios do aparelho, em mm;

B = largura do corpo-de-prova, em mm.

E = espessura, em mm.

A norma EN 300-2002 é exclusiva para produtos OSB derivados de madeira (Anexo 1: Tabelas da Norma EN 300/2002).

4.4.3.2 Arrancamento de parafuso face e topo (AP face e AP topo)

Para a determinação da resistência ao arrancamento de parafuso face e topo (AP f e AP t) dos painéis, foram retirados, dos mesmos, corpos-de-prova de formato quadrado, com (50 ± 1) mm de aresta. Foram inseridos parafusos com dimensões e profundidade

(Figura 26), de acordo com a norma ABNT NBR 14810 – *Painéis de partículas de média densidade Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio* (2013).

Figura 26 - Ensaio de arrancamento de parafuso: (a) topo (b) face

Fonte: Própria autoria.

4.4.3.3 Adesão Interna (AI)

Para a determinação da resistência à adesão interna (AI) dos painéis, foram retirados, dos mesmos, corpos-de-prova de formato quadrado, com (50 ± 1) mm de aresta, de acordo com o documento normativo EN 319-2006.

Foram colados suportes de metal nas duas faces dos corpos-de-prova que, posteriormente, são tracionados em direções opostas, de forma que os mesmos se rompam (Figura 27).

Figura 27 - Ensaio de tração perpendicular: (a) corpo-de-prova em ensaio; (b) corpo-de-prova ensaiado

Fonte: Própria autoria.

A adesão interna (AI) é calculada através da equação (3):

$$AI = \frac{F_{max}}{S} \quad (3)$$

Onde:

AI = adesão interna (MPa);

Fmax = força máxima (N);

a = comprimento do corpo-de-prova (mm);

b = largura do corpo-de-prova (mm);

Sendo a área de adesão

$S = a \times b$.

4.4.3.4 Ensaio de flexão estática 4 pontos

Testes de flexão de quatro pontos foram realizados de acordo com ASTM D 6272 em uma máquina de teste universal Zwick / Roell Z010, equipada com uma célula de carga de 10 kN. Foi utilizada uma relação de profundidade de 12: 1 com uma distância entre os nódulos de carga (a extensão de carga) de uma metade da extensão de suporte. Os testes foram realizados com uma velocidade de carregamento de 2,5 mm / min e uma pré-carga de 2N. As dimensões dos corpos-de-prova foram selecionadas para conter toda a área danificada visualmente por impacto (Figura 28a e b). A superfície impactada estava consistentemente em compressão durante o carregamento de flexão de todos os painéis. As amostras foram testadas em flexão após a sua produção (amostras não impactadas) ou após os testes de impacto de baixa velocidade, a fim de avaliar a sua resistência à flexão residual (isto é, a tolerância ao dano). A medição da espessura e da largura ao longo dos corpos-de-prova é parâmetro básico para realização deste ensaio, por isso, os valores serão determinados por meio da utilização de um paquímetro digital (marca Mitutoyo modelo CD-8" CX-B). Este ensaio foi realizado no Departamento de Engenharia Química, Materiais e Meio Ambiente, da Universidade de Roma "Sapienza" – Roma, Itália.

Figura 28 - Ensaio flexão 4 pontos: (a) e (b) corpo-de-prova em ensaio

(a)

(b)

Fonte: Própria autoria.

4.4.3.5 Ensaio de baixa velocidade de impacto

Foi realizado o ensaio de baixa velocidade de impacto para introduzir dano aos painéis OSB e avaliar a tolerância ao dano durante a caracterização mecânica pós impacto. Devido à falta de uma norma específica para este tipo de material, os ensaios de impacto de baixa velocidade foram realizados de acordo com um padrão tradicionalmente usado para plásticos rígidos, nomeadamente ISO 6603 Parte 2. Para realização deste ensaio foi utilizada uma máquina instrumentada de teste de impacto em queda, modelo CEAST / Instron 9340 (Figura 29). Foi utilizada uma ponta hemisférica com um diâmetro de 20 mm e uma massa total de 3 kg, enquanto os corpos-de-prova retangulares (100 mm x 150 mm) foram apertados pneumaticamente entre duas placas de aço deixando uma

área circular não suportada com um diâmetro de 40 mm. Na primeira, os testes de impacto de baixa velocidade foram realizados até perfuração e, em seguida, os testes foram realizados em diferentes porcentagens da respectiva energia de perfuração, ou seja, 25%, 50% e 75%. Pelo menos três espécimes foram afetados por cada combinação de material e nível de energia. Este ensaio foi realizado no Departamento de Engenharia Química, Materiais e Meio Ambiente, da Universidade de Roma “Sapienza” – Roma, Itália.

Figura 29 - Ensaio de impacto: (a) máquina de ensaio; (b) ponta hemisférica (Fonte: instron.it); (c) corpo-de-prova em ensaio.

Fonte: Própria autoria

4.4.3.6 Profilometria

Após o ensaio de baixa velocidade de impacto, a profundidade do dente de cada painel impactado foi medida usando o escaneamento por profilometria sem contato, feito pelo equipamento Talyscan 150 de Taylor-Hobson (Figura 30a). A varredura sem contato foi concedida pela tecnologia de triangulação a laser na superfície danificada dos corpos-de-prova (Figura 30b) com uma velocidade de aquisição de 10.500 $\mu\text{m/s}$. As imagens digitalizadas foram processadas com o software de análise TalyMap 3D. Este ensaio foi realizado no Departamento de Engenharia Química, Materiais e Meio Ambiente, da Universidade de Roma “Sapienza” – Roma, Itália.

Figura 30 - Perfilometria: (a) máquina de ensaio; (b) corpo-de-prova para ensaio

Fonte: Própria autoria.

4.4.3.7 Análise estatística

Para analisar as propriedades mecânicas (módulo de ruptura e elasticidade, arrancamento de parafuso e adesão interna) dos painéis de partículas foi empregado o mesmo delineamento experimental para as propriedades físicas, documentado na sessão 4.4.2.4.

4.4.4 Propriedades térmicas

Para determinar a condutividade e resistência térmica dos painéis de partículas foi adotada as recomendações do documento ASTM E 1530: 2011 *Evaluating the Resistance to Thermal Transmission of Materials by the Guarded Heat Flow Meter Technique*.

4.4.4.1 Condutividade térmica

Para a avaliação da condutividade térmica dos painéis OSB foram elaborados corpos-de-prova com dimensões de 5 cm de diâmetro. Com o objetivo de reduzir a resistência térmica entre a amostra e o equipamento, os corpos-de-prova foram cobertos na parte superior e inferior com pasta térmica (Figura 31b). A medição da espessura dos corpos-de-prova é parâmetro básico para realização do teste, por isso, os valores foram determinados por meio da utilização de um paquímetro digital (marca Mitutoyo modelo CD-8"CX-B).

Para realização deste ensaio foi utilizado o equipamento DTC-300 Model 2022 (Figura 31a e c).

Figura 31- Ensaio térmico: (a) máquina de ensaio; (b) corpo de prova coberto com pasta térmica; (c) corpo-de-prova em ensaio

(a)

(b)

(c)

Fonte: Própria autoria.

Para quantificar a resistência térmica foram aplicadas as equações (6) e (7):

$$R_{\text{Termica}} = \left[\frac{T_u - T_m}{Q} \right] - R_{\text{Int}} \quad (6) \quad R_{\text{Termica}} = \frac{e}{\lambda} \quad (7)$$

Onde: R_{Termica} é a resistência térmica da amostra ($\text{m}^2\text{K/W}$), T_u é temperatura da placa superior ($^{\circ}\text{C}$), T_m é temperatura da placa inferior ($^{\circ}\text{C}$), Q é Fluxo de calor (W), R_{Int} é resistência total da interface entre a amostra e a superfície das placas ($\text{m}^2\text{K/W}$), e é espessura da amostra (m) e λ é condutividade térmica (W/mK).

4.4.4.2 Análise estatística

Para analisar as propriedades térmicas (condutividade térmica e resistência térmica) dos painéis de partículas foi empregado o mesmo delineamento experimental para as propriedades físicas e mecânicas, documentado nas sessões 5.4.2.4 e 5.4.3.4.

4.4.5 Seleção da densidade e teor de resina

Com objetivo de selecionar a combinação entre densidade e o teor de resina foram sintetizados gráficos com base nas análises inferenciais das propriedades estudadas, para comparar os resultados e selecionar o tratamento.

4.6 Terceira fase – Aplicação dos painéis OSB em protótipos de aviário

4.6.1 Protótipos experimentais

Conforme relatado anteriormente, foram utilizados protótipos experimentais de aviário em escala reduzida e distorcida (Tabela 4) para avaliar a eficiência térmica de elementos construtivos na avicultura.

Tabela 4: Medidas dos protótipos experimentais adotadas por Cravo (2015)

	Dimensões		
	Real	1:10	1:2
Largura	15,00	1,40	
Comprimento	30,00	3,00	
Beiral	2,00	0,20	
Pé direito	3,00		1,50
Altura da parede	0,80		0,40
Espessura da parede	0,20		0,10

Fonte: CRAVO (2015)

Dessa forma, utilizamos os mesmos protótipos já utilizados por Cravo (2015), apenas modificando o forro com os painéis OSB de madeira Balsa (Figura 32).

Figura 32 - Protótipos experimentais

Fonte: Própria autoria.

4.6.2 Produção dos painéis OSB de madeira Balsa

Para testar o desempenho térmico do material, foram produzidos 32 painéis do melhor tratamento avaliado na segunda fase, com dimensões de 400 x 400 x 10 mm à base de madeira Balsa aglomerados com resina poliuretana à base de óleo de mamona (Figura 33).

Figura 33 - Paineis OSB

Fonte: Própria autoria.

4.6.3 Aplicação dos painéis OSB e coleta dos dados no interior dos protótipos

Posteriormente a fabricação dos painéis, estes foram fixados como forro no protótipo tratamento (provido de forro). Após a fixação dos painéis, foram instalados os loggers na região central dos protótipos a uma altura de 0,30 cm do chão (Figura 34a e b), pois segundo Santos et al. (2002) o centro de gravidade das aves corresponde a 30 cm do solo.

As coletas dos dados ambientais foram realizadas durante um total de 15 dias na estação de primavera de 2017 e verão de 2018. Os dias de coleta corresponderam aos dias com ausência de chuva, uma vez que essa reduz a temperatura da cobertura, o que afetaria o propósito do experimento. Os dados como velocidade do ar e pressão barométrica foram coletados através da estação meteorológica, localizada a 400 metros do local. Além disso, durante a coleta das variáveis térmicas, as cortinas laterais dos protótipos permaneceram fechadas.

Para a temperatura ambiente e umidade relativa dos protótipos, o foco da coleta correspondeu às 8h00min, 10h00min, 12h00min, 14h00min, 16h00min, 18h00min para o período diurno e 20h00min, 22h00min, 24h00min, 2h00min, 4h00min e 6h00min para o período noturno.

Figura 34 - (a) Protótipo desprovido de forro (controle); (b) Protótipo provido de forro

Fonte: Própria autoria.

4.6.4 Determinação dos índices de conforto térmico

4.6.4.1 Entalpia

Para determinar a entalpia no interior dos protótipos, durante os diferentes horários estudados, foi utilizado a eq. (10) proposta por Rodrigues et al. (2011).

$$H = 1,006 * t + UR/PB * 10 (7,5*t/237,3+t) * (71,28 + 0,052 * t) \quad (10)$$

Onde

H = Entalpia (kJ/kg de ar seco);

t = Temperatura do ar (°C);

UR = Umidade relativa do ar (%);

PB = Pressão barométrica local (mmHg).

A pressão barométrica considerada foi a coletada pela estação climatológica, marca Davis, modelo Vantage Pro2.

4.6.4.2 Índice térmico de produtividade para frangos de corte (IAPfc)

Para determinar o IAPfc no interior dos protótipos para os diferentes horários avaliados foi adotada a eq. (11) desenvolvida por Medeiros et al. (2005).

$$IAPfc = 45,6026 - 2,31072 t - 0,368331 u + 9,70922 v + 0,0549243 t^2 + 0,0012183 u^2 + 0,66329 v^2 + 0,012897 tu - 0,300928 tv - 0,0595245 uv \quad (11)$$

Onde

IAPfc = Índice Térmico Ambiental de Produtividade para Frangos de Corte;

t = temperatura;

u = umidade relativa;

v = velocidade do ar.

4.6.5 Análise estatística dos dados térmicos

Para avaliar a temperatura ambiente, umidade relativa e os índices de conforto (Entalpia e IAPfc) nas diferentes estações do ano, os dados qualitativos foram analisados por meio do teste de Tukey quando a ANOVA foi significativa, sendo testados a $P < 0,05$. O software utilizado para a interpretação dos dados foi o programa SAS.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Primeira fase – caracterização da matéria-prima

Este item apresenta resultados da caracterização físico-química das partículas de madeira Balsa e imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície e da seção transversal dessas partículas. Os tópicos abordados são relatados a seguir:

- Densidade real das partículas;
- Composição química e pH;
- Análise microestrutural;
- Considerações parciais da primeira fase.

5.1.1 Densidade Real das partículas

A Tabela 5 apresenta valores médios da densidade real das partículas de madeira Balsa, madeira pinus e de outros resíduos agroindustriais. Observa-se que a densidade da madeira Balsa exibiu o menor valor médio para essa variável. A diferença entre as densidades dos resíduos pode estar atrelada com a própria natureza das partículas, ou seja, o arranjo estrutural, número de espaços vazios entre as fibras e número total de fibras (células) contidas nas partículas.

Tabela 5 - Densidade das partículas de madeira Balsa e outros resíduos agroindustriais.

Matéria-prima	Densidade Real (kg/m³)	Densidade Aparente (kg/m³)	Fonte
Madeira Balsa	126	200	Estudo
<i>Pinus</i> spp.		1240	Fiorelli et al. (2014)
Casca de Amendoim		1370	
Bagaço de Cana		1400	
Fibra de coco		1290	Curtolo (2013)

Fonte: Própria autoria.

5.1.2 Composição química e pH

A quantificação da composição química das matérias-primas empregadas na produção de painéis de partículas contribui com a interpretação das propriedades físico-mecânicas do compósito, pois segundo Zhang e Hu (2013) a resistência à tração das fibras apresenta estreita relação com sua estrutura interna e composição química.

A Tabela 6 apresenta a composição química das partículas de madeira Balsa, de madeira utilizada pelas indústrias de processamento de painéis e de resíduos agroindustriais.

Tabela 6 - Composição química de partículas de madeira Balsa e resíduos agroindustriais.

Resíduos	pH	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Fonte
Madeira Balsa	5,69	66,47	6,07	14,03	Estudo
<i>Pinus</i> spp	4,48	51,13	15,10	27,29	Fiorelli et al. (2014)
<i>Eucalyptus urophylla</i>	---	52,00	19,04	28,60	Megaton et al. (2006)
<i>Eucalyptus grandis</i>	---	51,70	20,50	27,80	Megaton et al. (2006)
Fibra de coco	4,39	56,69	16,64	25,11	Curtolo (2013)
Bagaço de cana	5,11	50,47	30,56	10,74	Fiorelli et al. (2014)
Casca de Amendoim	5,21	42,5	26,3	28	Fiorelli et al. (2014)

Fonte: Própria autoria.

As partículas de madeira Balsa apresentaram maior teor de celulose e menor teor de lignina em comparação com as madeiras (*Pinus* e *Eucalipto*) e aos resíduos agroindustriais (Tabela 6). A lignina é um polímero amorfo que confere rigidez na parede celular das fibras, proporcionando resistência à compressão e a dobra. Além de fornecer rigidez à madeira, a lignina atua como ligante que mantém as fibras unidas na estrutura da madeira. Segundo Fengel e Wegener (1984) alto conteúdo de celulose aumenta a resistência da madeira, enquanto que o alto teor de lignina aumenta a rigidez, refletindo assim, nas propriedades mecânicas dos painéis particulados. Além disso, a lignina por ser um componente químico hidrofóbico, não apresenta interação química com as moléculas de água (NOURBAKHS; FARHANI BAGHLANI; ASHORI, 2011).

Nas fibras coexistem duas regiões, sendo uma organizada denominada cristalina e uma desorganizada nomeada de amorfa. A região cristalina da fibra apresenta maior resistência à tração do que a região amorfa (D'ALMEIDA, 1988). Além de proporcionar resistência, a celulose é uma das responsáveis pela adesão com a resina durante o processo de fabricação dos painéis de partículas.

Com relação ao teor de hemiceluloses, as partículas de madeira Balsa exibiram valores inferiores aos aferidos para a madeira e resíduos agroindustriais. A estrutura química desse polissacarídeo é semelhante ao da celulose. Apesar da semelhança, esses compostos

diferem entre as suas reatividades, sendo que as hemiceluloses por serem amorfas e possuírem configurações irregulares e ramificadas, absorvem água mais facilmente que a celulose (D'ALMEIDA, 1988).

5.1.3 Análise microestrutural

Na Figura 35, utilizando um aumento de 500 x, é possível destacar e obter melhor visualização dos vazios (ar) e das fibras. Tais câmaras de ar (vazios) comprovam a baixa densidade da madeira Balsa.

Figura 35 - Corte transversal de partícula de madeira Balsa residual. (a) Diâmetro dos poros e espessura das paredes fibrilares (imagem ampliada 500x); (b) Diâmetro dos vasos (imagem ampliada 100x)

(a)

Fonte: Própria autoria.

5.1.4 Considerações parciais da primeira fase

A densidade aparente das partículas de madeira Balsa foi de 200 kg/m^3 , valor inferior ao de algumas espécies de madeira e de outros resíduos agroindustriais.

Pela análise química foi constatado altos teores de celulose e baixos teores de hemicelulose. Além desses compostos químicos, as partículas também exibiram quantidades inferiores de lignina.

A análise microestrutural revelou que a madeira Balsa apresenta muitos vazios em sua morfologia (similar a um favo de mel), ou seja, isto explica a baixa densidade em comparação com outras espécies de madeira.

5.2 Segunda fase – Caracterização dos painéis OSB planos

Este item apresenta resultados da caracterização termo-físico-mecânica dos painéis OSB de madeira balsa aglomerados com resina poliuretana à base de óleo de mamona e imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos mesmos. Os tópicos abordados serão:

- Propriedades Físicas (Densidade aparente, Absorção de água e Inchamento em Espessura);

- Propriedades Mecânicas (Módulo de ruptura, módulo de elasticidade, arrancamento de parafuso, adesão interna, flexão estática 4 pontos, baixa velocidade de impacto e profilometria);
- Propriedades Térmicas (Condutividade térmica e Resistência térmica)
- Análise microestrutural dos painéis OSB;
- Seleção do melhor tratamento;
- Considerações parciais da segunda fase.

5.2.1 Propriedades Físicas

As propriedades físicas aferidas para os painéis OSB planos aglomerados com resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona foram densidade aparente, absorção de água e inchamento em espessura.

Para o cálculo da razão de compactação, foi utilizada a densidade aparente da madeira Balsa, que foi calculada a partir da norma ABNT NBR 7190: 1997 *Projetos de estrutura de madeira*. A madeira Balsa apresentou o valor de 200,92 kg/m³ para densidade aparente.

O resumo dos valores médios das propriedades físicas (densidade aparente, absorção de água e inchamento em espessura) estão descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores médios obtidos das propriedades físicas dos painéis e valores recomendados pela norma para placa OSB tipo 1

Tratamento	Absorção (%)		Inchamento (%)		Densidade Aparente (kg/m ³)	Razão de Compactação
	2 h	24 h	2 h	24 h		
T1 – 300/11	83,16^{ab}	144,65^a	17,01^a	21,89^a	339,78	1,691
(CV)	(20,59)	(13,60)	(21,92)	(20,10)	(5,89)	
T2 – 300/15	94,68^{ab}	164,66^a	16,20^a	18,45^a	340,42	1,694
(CV)	(19,12)	(11,96)	(23,36)	(21,03)	(8,92)	
T3 – 400/11	102,1^a	144,48^a	36,79^b	42,94^b	463,24	2,52
(CV)	(11,48)	(10,67)	(16,46)	(15,14)	(15,55)	
T4 – 400/15	74,15^b	110,73^b	26,63^c	33,57^c	458,08	2,58
(CV)	(23)	(17,78)	(25,16)	(18,01)	(8,70)	
EN 300:2002	---	---	---	25	---	
Tipo 1						

*CV = coeficiente de variação

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey. Fonte: Própria autoria.

Com os resultados obtidos para as propriedades físicas foi observado que para absorção (2 h e 24 h) os tratamentos T1 e T2 não apresentaram diferença estatística entre si, porém apresentaram diferença estatística T1, T2 e T3 em relação ao T4 para absorção (24 h). Para o inchamento em espessura, os tratamentos T1 e T2 não apresentaram diferença significativa, porém apresentaram diferença estatística para o tratamento T3 e também para o T4. Foi possível notar esta diferença porque os tratamentos T3 e T4 apresentam maior densidade, conseqüentemente, uma maior quantidade de partículas, o que acarretou em maiores valores de inchamento em espessura e absorção de água. Apenas os tratamentos T1 e T2 atenderam as recomendações da norma EN 300:2002 - *Oriented Strand Board (OSB) – Definitions, classification and specifications*, painéis do Tipo 1, para o inchamento em espessura (24h). Apesar da razão de compactação adequada para painéis de madeira exibirem uma faixa de 1,3 a 1,6, segundo Maloney (1993), os tratamentos T3 e T4 que apresentaram razão de compactação acima destes valores, demonstraram ótimo desempenho nas propriedades físicas e mecânicas. Portanto, é possível concluir que para madeiras de baixa densidade, uma razão de compactação alta, não influencia nas propriedades do painel.

5.2.2 Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas aferidas para os painéis OSB aglomerados com resina poliuretana à base de óleo de mamona foram módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE), arrancamento de parafuso face e topo e adesão interna (AI).

5.2.2.1 Módulo de Ruptura, Módulo de Elasticidade e Adesão Interna

O resumo dos valores médios das propriedades mecânicas (módulo de ruptura, módulo de elasticidade, arrancamento de parafuso e adesão interna) e os valores dessas propriedades recomendadas pelo documento normativo europeu EN 300:2002 - *Oriented Strand Board (OSB) – Definitions, classification and specifications*, para painéis OSB tipo 1 (usos em mobiliário e interiores - ambiente seco) estão descritas na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores médios obtidos das propriedades mecânicas e valores recomendados pelas normas EN 300:2002 para placas OSB tipo 1.

Tratamento	MOR (MPa)		MOE (MPa)		AI (MPa)
	Long.	Trans.	Long.	Trans.	
T1 – 300/11 (CV)	7,87^a (7,96)	9,85^a (25,41)	1637^a (5,13)	1096^{ab} (38,53)	0,17^a (10,03)
T2 – 300/15 (CV)	9^a (13,47)	9,28^a (21,90)	1654^a (20,7)	787^b (27,43)	0,25^a (16,55)
T3 – 400/11 (CV)	17,14^b (17)	11,40^a (31,57)	3669^b (12,35)	1856^a (48,24)	0,22^a (27,94)
T4 – 400/15 (CV)	18,72^b (12,86)	16,98^b (18,96)	3505^b (11,62)	1765^a (12,27)	0,46^b (22,05)
EN 300:2002 Tipo 1	20	10	2500	1200	0,30

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey. Fonte: Própria autoria.

Com os resultados obtidos para as propriedades mecânicas foi observado que os tratamentos T1 e T2 não apresentaram diferença estatística entre si, assim como os tratamentos T3 e T4, porém apresentaram diferença estatística T1 e T2 em relação ao T3 e T4. O tratamento T4 apresentou propriedades mecânicas superiores aos tratamentos T1, T2 e T3, principalmente em relação a AI de partículas. Esses painéis T4 atenderam as recomendações da norma EN 300:2002 - *Oriented Strand Board (OSB) – Definitions, classification and specifications*, painéis do Tipo 1, para as propriedades mecânicas MOElong., MOEtrans., MORtrans., e AI.

Cabe destacar, com base nos resultados apresentados na Tabela 8, que pelo fato da madeira Balsa possuir uma constituição anatômica muito porosa (Figura 35) e baixa densidade, quando aplicada na produção de painéis de partículas, o volume de material é elevado, o que exige maior teor de resina para obter propriedades físicas e mecânicas que atendam as recomendações normativas.

5.2.2.2 Arrancamento de Parafuso Face e Topo

A Tabela 9 apresenta os valores médios obtidos para as propriedades de arrancamento de parafuso de face (Apface) e arrancamento de parafuso de topo (Aptopo).

O documento normativo brasileiro ABNT NBR 14810:2013 – *Painéis de partículas de média densidade Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio* estabelece, para chapas de madeira aglomerada, valores de 1020 N para arrancamento de parafuso de face

e 800 N para arrancamento de parafuso de topo. Das condições analisadas, nenhum dos tratamentos atenderam aos requisitos normativos.

No entanto, com relação aos tratamentos avaliados, podemos concluir que o tratamento com densidade de 400 kg/m³ e teor de resina de 15% apresentou valores superiores aos demais tratamentos avaliados.

Tabela 9 - Valores médios de arrancamento de parafuso

Tratamento	Apface (N)	Aptopo (N)
T1	101^a	165^a
(CV)	(13,18)	(16,00)
T2	145^a	179^{ab}
(CV)	(13,17)	(13,18)
T3	316^b	322^b
(CV)	(4,25)	(11,7)
T4	858^c	1132^c
(CV)	(7,64)	(11,12)
NBR 14810	1020	800

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey a $P < 0,05$. Fonte: Própria autoria.

Ferro (2013) avaliou a resistência ao arrancamento de parafuso face e topo de painéis OSB com madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) aglomerados com resina poliuretana à base de óleo de mamona com influência de preservante. A autora também variou o teor de resina (8, 10 e 12%) e obteve resultados que variaram de 252,8 N a 1666 N para arrancamento de parafuso de face e 661,5 N a 1386,6 N para arrancamento de parafuso de topo.

Os valores médios obtidos para as variáveis investigadas foram inferiores aos encontrados por Souza (2012) para painéis OSB com partículas de madeira de *Pinus* sp. aglomerados com resina à base de óleo de mamona, que obteve resultados na faixa de 1372 N a 1598 N para arrancamento de parafuso de face e 1365 N a 1898 N para arrancamento de parafuso de topo.

A análise dos valores médios obtidos permite observar que, com um aumento de densidade e o teor de resina do T1 ao T4, resultou num melhor desempenho para a avaliação da resistência ao arrancamento de parafuso face e topo. Vale destacar que a norma NBR 14810:2013 recomenda valores mínimos para painéis de partículas de madeira, mais especificamente àqueles produzidos com *Pinus* e *Eucalipto*. Quando se

estuda produtos com características similares, porém de matéria-prima oriunda de biomassa residual, é necessário entender que os parâmetros mínimos poderão não ser atendidos. Assim, entende-se que para materiais não convencionais, é necessário o estabelecimento de novas diretrizes mínimas para as propriedades físico-mecânicas.

5.2.2.3 Baixa velocidade de impacto

Como vários parâmetros (por exemplo, densidade e teor de resina) podem, em princípio, afetar a resposta ao impacto dos painéis OSB, é difícil comparar dois materiais com exatamente as mesmas características, especialmente ao considerar-se a variabilidade inerente as propriedades mecânicas e a origem natural dos materiais envolvidos na fabricação dos painéis. Isso explica a necessidade de impactar os corpos-de-prova em diferentes porcentagens de suas respectivas energias de perfuração, sem usar os mesmos níveis de energia de impacto absoluto, na tentativa de limitar a influência das diferenças nos materiais.

Neste estudo, a metodologia bem conhecida e aceita para avaliação de tolerância a danos em compósitos laminados tem sido usada, incluindo três etapas sequenciais principais, a saber: (i) teste de impacto, (ii) determinação da resistência residual estática e (iii) avaliação de tolerância a danos. Para avaliar o dano causado em um composto, é comum referir-se à energia de impacto (E_i) e energia absorvida (E_a): o primeiro representa a energia cinética do impactador logo antes do contato com as amostras, enquanto o segundo é a energia do sistema dissipada através dos vários mecanismos que ocorrem após o contato do impactador, como deformação elástica, atrito, deformação plástica e, principalmente, aqueles peculiares ao material, como a quebra de resina, descolagem e quebra de partículas de madeira.

A energia absorvida foi calculada diretamente das curvas de força vs. deformação. Para avaliar o desempenho do painel, a resposta transitória de cada painel OSB foi registrada em termos de carga, energia e deformação. Os principais parâmetros de impacto, como força máxima, deformação máxima e energia absorvida, estão resumidos na Tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros de impacto para painéis OSB

Tratamentos	Energia de Perfuração (E_p) (J)	Força máxima (N)	Deformação máxima (mm)	Energia Absorvida (J)	Grau de Dano
T1_perf (CV,%)	8.19 (11.87)	864.36 (18.00)	- -	- -	1 -
T1_25% (CV,%)	- -	956.41 (10.00)	3.40 (18.02)	1.67 (1.33)	0.83 (1.34)
T1_50% (CV,%)	- -	1026.40 (1.73)	4.19 (7.10)	3.79 (2.52)	0.95 (2.52)
T1_75% (CV,%)	- -	1061.41 (2.26)	4.68 (12.03)	6.14 (1.52)	0.99 (1.69)
T2_perf (CV,%)	13.64 (14.00)	1676.38 (22.27)	- -	- -	1 -
T2_25% (CV,%)	- -	1333.38 (11.81)	2.97 (9.00)	2.07 (4.49)	0.83 (4.49)
T2_50% (CV,%)	- -	1142.30 (9.58)	3.19 (15.99)	2.89 (6.75)	0.89 (6.75)
T2_75% (CV,%)	- -	1425.83 (13.15)	3.62 (9.55)	6.35 (3.52)	0.98 (3.52)
T3_perf (CV,%)	13.79 (8.10)	1578.23 (21.75)	- -	- -	1 -
T3_25% (CV,%)	- -	1004.37 (6.64)	3.84 (11.95)	3.36 (1.29)	0.92 (1.29)
T3_50% (CV,%)	- -	1787.24 (14.51)	3.95 (8.17)	6.76 (6.74)	0.94 (5.37)
T3_75% (CV,%)	- -	1621.00 (35.05)	4.37 (3.88)	9.66 (15.33)	0.99 (2.03)
T4_perf (CV,%)	18.19 (12.32)	2226.36 (11.17)	- -	- -	1 -
T4_25% (CV,%)	- -	1622.62 (20.01)	3.13 (4.98)	4.20 (5.81)	0.88 (5.81)
T4_50% (CV,%)	- -	2194.46 (15.52)	3.28 (9.98)	9.19 (3.16)	0.96 (3.16)
T4_75% (CV,%)	- -	1384.08 (6.96)	4.80 (2.24)	11.85 (8.62)	<i>Penetration</i>

Fonte: Própria autoria.

Figura 36 - Curvas de força x deformação de painéis OSB representativos de cada tratamento em função do aumento da energia de impacto até a perfuração

Fonte: Própria autoria.

Vale ressaltar que mesmo com baixa energia de impacto (50% do limiar de perfuração), a resposta transitória das amostras apresentou queda de carga e extenso platô na força máxima na curva força x deslocamento fato que sugerem a ocorrência de danos dentro dos painéis OSB, com tendência crescente até 75% da energia da perfuração (E_p), que foi bastante baixa para os painéis T1 e T2 (Tabela 10). O pico de carga aumentou com o aumento da energia de impacto até 50% da energia de perfuração, para todos os painéis, enquanto mostrou uma tendência decrescente para uma energia de impacto igual a 75% da E_p , onde os painéis sofreram danos severos, como confirmado por um grau de dano (definido como a razão entre energia absorvida e energia de impacto) próximo à unidade, quando a penetração ocorreu. Este comportamento foi encontrado especialmente para painéis pertencentes aos tratamentos de T1 a T4. Painéis com a densidade mais alta superaram aqueles com a menor em termos de força de pico, que está relacionada com a

rigidez do painel e energia de perfuração (E_p). Ambas as propriedades são claramente influenciadas pela melhor compactação das partículas, como confirmado pelo maior valor de resistência interna da ligação. O valor da energia residual representa a energia total absorvida pelo material compósito através de danos irreversíveis. O diferente conteúdo de resina dentro de cada tratamento pareceu desempenhar um papel mais significativo em comparação com a densidade.

5.2.2.4 Flexão estática 4 pontos

As propriedades mecânicas residuais representam uma consequência importante dos impactos nos painéis OSB. Portanto, é necessário avaliar a capacidade de um elemento estrutural continuar a desempenhar suas funções mesmo após um evento de impacto. Para materiais compósitos, é bem conhecido que as propriedades de tração, compressão e flexão são severamente reduzidas como consequência de um evento de impacto (WANG et al., 2010; SARASINI et al., 2013). Neste estudo, as propriedades flexurais residuais da amostra foram avaliadas. Para este propósito, depois de causar danos por um impacto fora do plano nos painéis, testes de flexão de quatro pontos foram realizados. Os resultados de flexão dos painéis antes do impacto indicam (Figura 43) uma tendência crescente na resistência com o aumento da densidade, enquanto se constatou que o módulo de elasticidade é relativamente constante, independentemente da densidade e do teor de resina.

Figura 37 - Propriedades de flexão de painéis OSB virgens

Fonte: Própria autoria.

Como esperado, a tendência crescente de danificar todos os materiais com o aumento da energia de impacto é compensada pela redução da resistência à flexão residual e do módulo. Para avaliar melhor a influência do dano de impacto nas propriedades residuais, a resistência à flexão normalizada e o módulo de cada tratamento foram calculados como a razão entre a força / módulo de flexão média dos espécimes impactados e a força / módulo de flexão média dos espécimes não danificados e mostrado na Figura 37 como uma função da energia de impacto.

O decréscimo do módulo de flexão com o aumento da energia de impacto foi muito mais limitado, como comumente encontrado em vários trabalhos sobre compósitos tradicionais (ZHANG; RICHARDSON, 2007; SARASINI et al., 2016), como impacto, muitas vezes reduz a força de uma forma mais pronunciada no que diz respeito à rigidez do painel. Mesmo a tolerância ao dano pode ser considerada apenas levemente afetada pelo diferente conteúdo de resina, pelo menos para a faixa de quantidade de resina investigada no presente estudo.

Figura 38 - Variação das propriedades à flexão normalizadas com energia de impacto para painéis OSB

Fonte: Própria autoria.

5.2.2.5 Profilometria dos painéis OSB

Como mostrado nas Figuras 39 a 42, apenas um dano superficial, como profundidade dentada residual, foi detectado na superfície dos painéis impactados, o qual foi encontrado com o aumento da energia de impacto para todos os tratamentos (Figura 43). A profundidade dentada residual é geralmente considerada um parâmetro chave que

pode ser relacionado à resistência residual e ao dano interno causado em materiais por um evento de impacto (CAPRINO; LOPRESTO, 2000).

É difícil realizar uma comparação sólida da profundidade dentada residual obtida para os diferentes tratamentos devido aos diferentes níveis de energia de impacto envolvidos e às diferentes tensões de contato localizadas relacionadas. Ao lidar com compósitos laminados, é muito comum definir o dano por impacto pouco visível (BVID) como o dano causado por um evento de impacto capaz de induzir uma profundidade dentada de 0,3 mm na superfície impactada.

Este regime é particularmente importante porque o BVID pode resultar em graves danos internos, juntamente com uma perda significativa na resistência residual. No que diz respeito aos painéis OSB, a partir dos resultados pode concluir-se que quase para todos os tratamentos uma energia de impacto próxima de 25% da respectiva energia de perfuração, pode aproximar-se do regime BVID.

Figura 39 - Perfil de indentação residual típica (esquerda) e vista 3D (direita) do tratamento T1 para painéis OSB, em função do aumento da energia de impacto obtida pelo profilômetro: a 25%, 50% e 75% da E_p .

Fonte: Própria autoria.

Figura 40 - Perfil de indentação residual típica (esquerda) e vista 3D (direita) do tratamento T2 para painéis OSB, em função do aumento da energia de impacto obtida pelo profilômetro: a 25%, 50% e 75% da E_p .

Fonte: Própria autoria.

Figura 41 - Perfil de indentação residual típica (esquerda) e vista 3D (direita) do tratamento T3 para painéis OSB, em função do aumento da energia de impacto obtida pelo profilômetro: a 25%, 50% e 75% da E_p

Fonte: Própria autoria.

Figura 42 - Perfil de indentação residual típica (esquerda) e vista 3D (direita) do tratamento T4 para painéis OSB, em função do aumento da energia de impacto obtida pelo profilômetro: a 25% e 50% da Ep. Para o tratamento 4 com 75% ocorreu a perfuração, conseqüentemente foi descartado.

Fonte: Própria autoria.

Pode-se observar que para todos os tratamentos estudados (T1 a T4), as dimensões no plano representam a dimensão real da área digitalizada (que é dependente da extensão da área danificada com o aumento da energia de impacto), enquanto a dimensão na direção da espessura foi alterada (esticada) para tornar mais visível a profundidade de penetração do impactador.

Figura 43 - Profundidade dentada em função da energia de impacto para painéis OSB

Fonte: Própria autoria.

5.2.3 Condutividade térmica

A propriedade térmica aferida para os painéis OSB planos aglomerados com resina poliuretana à base de óleo de mamona foi a condutividade térmica (CT).

O resumo dos valores médios de condutividade térmica e os valores dessas propriedades recomendadas pela NBR 15220:2003 – *Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações*, estão descritas na Tabela 11.

Tabela 11 - Valores médios obtidos das propriedades térmicas e valores recomendados pela norma NBR 15220:2003

Tratamento	CT (W/m.K)
T1	0,101 ^a
(CV)	(4,19)
T2	0,103 ^{ab}
(CV)	(1,47)
T3	0,115 ^b
(CV)	(4,60)
T4	0,110 ^{ab}
(CV)	(5)
NBR 15220:2003	0,120

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey. Fonte: Própria autoria.

Para a propriedade térmica, todos os tratamentos atenderam ao documento normativo NBR 15220/2003, ou seja, o material em estudo apresenta uma baixa condutividade térmica e um grande potencial para aplicações como isolante térmico. Nos isolantes térmicos, a resistência ao fluxo de calor está vinculada as incontáveis células de ar (espaços vazios) que existe no interior do material.

Quando a radiação passa nesses espaços, a velocidade do fluxo é reduzida e posteriormente pode ser absorvida ou espalhada no material, consequentemente apresenta uma menor transferência de calor, pois o ar apresenta baixa condutividade térmica (AL-HOMOUD, 2005). Segundo Wang (1988), materiais que apresentem condutividade térmica menor que $0,25 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ são geralmente considerados isolantes térmicos.

5.2.4 Características anatômicas dos painéis OSB de madeira Balsa residual

Nas Figuras 44, 45, 46 e 47, utilizando primeiramente uma foto do painel OSB e ao lado uma imagem de microscopia eletrônica de varredura, com um aumento de 50x, é possível destacar e obter melhor a visualização da compactação dos painéis OSB.

Figura 44 - Tratamento 1. a) Seção transversal do painel. b) Seção transversal ampliada 100 x.

Fonte: Própria autoria.

Figura 45 - Tratamento 2. a) Seção transversal do painel. b) Seção transversal ampliada 100 x.

Fonte: Própria autoria.

Figura 46: Tratamento 3. a) Seção transversal do painel. b) Seção transversal ampliada 100 x

Fonte: Própria autoria.

Figura 47 - Tratamento 4. a) Seção transversal do painel. b) Seção transversal ampliada 100 x

Fonte: Própria autoria.

Pela Figura 44, o Tratamento 1 (300 kg/m^3 e 11% de teor de resina) apresenta uma quantidade de partículas insuficiente para garantir uma compactação adequada e o teor de resina de 11% pode ser considerado insuficiente pois há poros entre as partículas o que justifica os maiores valores de inchamento em espessura e baixos valores de adesão interna.

Na Figura 45, o Tratamento 2 (300 kg/m^3 e 15% de teor de resina) é possível visualizar a baixa quantidade de matéria-prima para a formação do painel OSB, porém a quantidade de resina mostra-se adequada.

A Figura 46 ilustra o painel do Tratamento 3 (400 kg/m^3 e 11% de resina) é observa-se uma melhor compactação das partículas em relação aos tratamentos T1 e T2, porém nota-se a necessidade de utilizar maior teor de resina, pois a compactação das partículas ainda é insuficiente, justificada pelo valor de 0,22 MPa de Adesão Interna.

A Figura 47 traz imagens do painel OSB referente ao Tratamento 4 (400 kg/m^3 e 15% de resina). Este compósito apresenta melhor compactação das partículas que reflete em menores valores de propriedades físicas e maiores de propriedades mecânicas. O teor de resina de 15% mostra-se adequado, uma vez que os valores da AI (0,42 MPa) atende as prescrições da norma EN 300:2002.

5.2.5 Seleção do melhor tratamento

Com base nos resultados obtidos e apresentados anteriormente, foi realizada a comparação entre os tratamentos avaliados e selecionado o tratamento que obteve o

melhor desempenho, de acordo com as recomendações dos documentos normativos nacionais e internacionais. O tratamento que apresentou um desempenho superior aos demais e ficou muito próximo de atingir as recomendações normativas foi o tratamento T4, que consiste em placas de partículas orientadas (OSB) com uma densidade de 400 kg/m³ e teor de resina de 15%.

5.2.6 Considerações parciais da segunda fase

Para as propriedades físicas (absorção e inchamento) o tratamento T4 apresentou resultados inferiores aos demais tratamentos estudados, o que demonstra ser um bom resultado.

Para as propriedades mecânicas (módulo de ruptura e módulo de elasticidade) os tratamentos T3 e T4 apresentaram um ótimo desempenho em comparação com os demais tratamentos. Para a adesão interna o tratamento T4 foi superior aos demais, atingindo até os requisitos especificados pela norma EN 300:2002 e para arrancamento de parafuso face e topo também o tratamento T4 apresentou o melhor desempenho.

Para a propriedade térmica todos os tratamentos estudados apresentaram baixa condutividade térmica, o que os caracterizam como bons isolantes térmicos.

Por fim, para as características anatômicas em junção com os resultados de adesão interna, foi possível concluir que os tratamentos T3 e T4 demonstraram uma melhor compactação do painel, em relação aos tratamentos T1 e T2.

Para as propriedades mecânicas (baixa velocidade de impacto e módulo de elasticidade) o tratamento T4 conseguiu suportar uma carga maior ao impacto, consequentemente absorveu mais energia, sem danificar. Portanto o tratamento T4 apresentou um desempenho superior em comparação com os demais tratamentos.

5.3 Terceira fase – Estudo do desempenho térmico de protótipos de aviário com forro de painel OSB de madeira balsa residual

Este item apresenta resultados do desempenho térmico de protótipos de aviários providos de forro de painéis OSB de madeira balsa residual aglomerados com densidade de 400 kg/m³ e 15% de resina poliuretana à base de óleo de mamona.

5.3.1 Desempenho térmico

Para a avaliação do desempenho térmico dos protótipos de aviários sem e com forro de painéis OSB de madeira balsa residual foram aferidas as variáveis térmicas (temperatura ambiente e umidade relativa) e calculados os índices de conforto térmico (entalpia e IAPfc) no interior das instalações avícolas durante um total de 15 dias na estação de primavera de 2017 e verão de 2017 - 2018.

5.3.1.1 Variáveis térmicas

O resumo dos valores médios para temperatura interna, umidade relativa, entalpia e IAPfc dos períodos diurno e noturno, durante o período de primavera de 2017 e verão de 2018, estão esboçados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 - Valores médios das variáveis térmicas para a primavera.

Período	Horário	Primavera							
		Protótipo com Forro				Protótipo sem Forro			
		Temp. (°C)	UR (%)	Entalpia (kJ/kg)	IAPfc (%)	Temp. (°C)	UR (%)	Entalpia (kJ/kg)	IAPfc (%)
Diurno	8	14,3 ^a	82,7 ^a	35,9 ^a	17 ^a	14,6 ^a	85,3 ^b	37,2 ^a	17,2 ^a
	10	25,9 ^a	52,2 ^a	54,1 ^a	24,2 ^a	27,1 ^b	50,4 ^a	56,3 ^a	25,5 ^a
	12	31,1 ^a	38,8 ^a	59,5 ^a	29,5 ^a	32,6 ^b	36,7 ^b	61,8 ^a	31,5 ^b
	14	32,4 ^a	34,6 ^a	59,5 ^a	31,3 ^a	33,6 ^a	33 ^a	61,2 ^a	33 ^b
	16	31 ^a	35 ^a	56,3 ^a	29,4 ^a	31,3 ^a	34,2 ^a	56,5 ^a	29,7 ^a
	18	21,4 ^a	50,2 ^a	42 ^a	19,8 ^a	20,6 ^a	50,9 ^a	40,5 ^a	19,3 ^a
Noturno	20	15,9 ^a	65,3 ^a	34,8 ^a	17,3 ^a	15,2 ^a	68,1 ^a	34 ^a	17,2 ^a
	22	13,5 ^a	73,2 ^a	31,5 ^a	16,8 ^a	12,9 ^a	76,3 ^b	31 ^a	16,7 ^b
	24	12,1 ^a	78,1 ^a	29,8 ^a	16,6 ^a	11,6 ^a	81,1 ^b	29,2 ^a	16,6 ^a
	2	10,5 ^a	82,5 ^a	27,1 ^a	16,5 ^a	9,9 ^a	85,5 ^b	26,5 ^a	16,5 ^a
	4	9,5 ^a	85,5 ^a	25,7 ^a	16,6 ^a	9 ^a	88,4 ^b	25,2 ^a	16,6 ^a
	6	8,8 ^a	87 ^a	24,6 ^a	16,7 ^a	8,3 ^a	90,1 ^b	24,1 ^a	16,7 ^a

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na linha diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey. Fonte: Própria autoria.

Tabela 13 - Valores médios das variáveis térmicas para o verão.

Período	Horário	Verão							
		Protótipo com Forro				Protótipo sem Forro			
		Temp. (°C)	UR (%)	Entalpia (kJ/kg)	IAPfc (%)	Temp. (°C)	UR (%)	Entalpia (kJ/kg)	IAPfc (%)
Diurno	8	22,7 ^a	82,6 ^a	65,3 ^a	23,6 ^a	22,8 ^a	89,8 ^b	69,5 ^a	24,7 ^b
	10	29,4 ^a	68,8 ^a	82,9 ^a	31,6 ^a	33 ^b	61,5 ^a	90,7 ^a	37,4 ^b
	12	34,5 ^a	54,9 ^a	91,8 ^a	38,8 ^a	36,5 ^b	51,6 ^a	96,5 ^a	42,5 ^b
	14	37,7 ^a	46,8 ^a	95,9 ^a	43,7 ^a	39,7 ^b	44,2 ^a	101 ^a	48,1 ^b
	16	36,6 ^a	46,6 ^a	91,3 ^a	42,2 ^a	38 ^a	45,7 ^a	95,4 ^a	45,7 ^a
	18	30,9 ^a	58,4 ^a	79,7 ^a	33,5 ^a	31,1 ^a	61,3 ^a	81,8 ^a	34,4 ^a
Noturno	20	25 ^a	72,3 ^a	67,9 ^a	25,1 ^a	24,6 ^a	76,9 ^a	68,8 ^a	25,2 ^a
	22	22,9 ^a	79,1 ^a	62,6 ^a	23,4 ^a	22,6 ^a	85,4 ^b	64,6 ^a	23,8 ^a
	24	22,4 ^a	81,1 ^a	61,8 ^a	22,7 ^a	22,1 ^a	87,8 ^b	64 ^a	23,1 ^a
	2	21,8 ^a	81,8 ^a	60,3 ^a	22,2 ^a	21,6 ^a	89,4 ^b	63 ^a	22,8 ^a
	4	21,3 ^a	82,8 ^a	59,1 ^a	21,9 ^a	21,1 ^a	91,5 ^b	62,2 ^a	22,6 ^b
	6	20,7 ^a	83,3 ^a	57,1 ^a	21,2 ^a	20,4 ^a	92,7 ^b	60,4 ^a	22 ^b

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na linha diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey. Fonte: Própria autoria.

Nas figuras 48 a 51 estão apresentados os pontos de dispersão dos valores médios para temperatura interna, umidade relativa, entalpia e IAPfc dos períodos diurno e noturno, durante o período de primavera de 2017 e verão de 2018, para melhor visualização.

Figura 48 - Valores médios da temperatura ambiente interna dos protótipos

Fonte: Própria autoria.

De acordo com Cassuce (2011) a zona de conforto térmico estimado para frangos de corte nas três primeiras semanas de vida são 31,3°C na primeira semana, entre 26,3 e 27,1°C na segunda semana, entre 22,5 e 23,2°C na terceira semana e 23°C entre a quarta e sexta semana. Nota-se pela Figura 48 que a temperatura do protótipo com forro foi menor que ao sem forro, durante as horas de maior incidência de radiação durante o dia (10h00min a 16h00min). Porém, apenas no horário das 10h00min o protótipo com forro, na estação do verão, esteve na zona de conforto térmico estimado para frangos de corte na primeira semana de vida. Para as outras semanas de vida do animal, os protótipos experimentais apresentaram valores desconfortáveis para aves de corte durante a primavera e verão, tornando necessária a inserção de outras tecnologias para atenuar a temperatura interna.

Ao analisar os protótipos, durante o período noturno, foi possível perceber que ambos demonstraram características contrárias se comparadas durante o período diurno. Os protótipos sem forro, durante o dia com temperaturas altas, tiveram uma significativa perda de calor durante a noite. Enquanto isso, os protótipos com forro apresentaram maior capacidade de reter a temperatura interna do ambiente.

A umidade relativa é caracterizada pela quantidade de vapor de água presente no ar em relação à quantidade máxima possível de vapor, sob a temperatura que se encontra. Com isso, a umidade relativa é inversamente proporcional à temperatura do ar, uma vez que controla a umidade máxima em um volume de ar (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2011).

De acordo com Tinôco (2001), a umidade relativa do ar entre 50 a 70% é confortável para aves adultas quando a temperatura do ar estiver entre 15-18°C a 22-25°C. Entretanto, vale destacar, que os valores das temperaturas ambientes dos protótipos ficaram acima do exigido pela pesquisadora, como demonstrado nas Tabelas 12 e 13.

O resfriamento evaporativo é definido como um mecanismo que as aves utilizam para perda de calor em ambientes que tenham altas temperaturas. Isso ocorre devido ao fato de que as aves possuem a capacidade de elevar a frequência respiratória em até 10 vezes. No entanto, para que esse mecanismo apresente bom funcionamento, é necessário que a umidade relativa do ambiente não seja alta, pois caso contrário, as aves terão um acúmulo de energia térmica e, conseqüentemente, apresentaram estresse térmico (MACARI; FURLAN; GONZALES, 2002).

Figura 49 - Valores médios da umidade relativa interna dos protótipos

Fonte: Própria autoria.

Assim, visualiza-se na Figura 49, que o horário das 08h00min durante a primavera e verão apresentaram os maiores valores de umidade relativa no interior dos protótipos. Esses dados revelam que durante esse período do dia, as aves teriam maiores dificuldades para dispendar calor pelo mecanismo evaporativo. No entanto, nas horas mais quentes (10h00min a 16h00min), apenas no horário das 10h00min da primavera e verão e o horário das 12h00min do verão apresentaram valores compatíveis a 50-70% apresentado por Tinôco (2001). Nos demais horários, apenas o horário das 18h00min atendeu ao estabelecido pela pesquisadora. Durante o período noturno todos os horários atenderam os 50-70% propostos por Tinôco (2001).

A entalpia pode ser descrita como a quantidade de energia em uma mistura de vapor de água. A variação na temperatura do ar, umidade relativa e pressão barométrica em um determinado ambiente, modifica a quantidade de energia no ar, e influencia nas trocas térmicas entre o animal e o ambiente (LOURENÇONI, 2013).

Esse comportamento está relacionado aos resultados de temperatura ambiente e umidade relativa, durante a primavera, essas duas variáveis térmicas tiveram estatisticamente significativa importância. Como o protótipo com forro, no período diurno, apresentou temperatura ambiente menor comparado o protótipo sem forro menor

será entalpia nessa instalação. Entretanto, como essa situação se inverte no período noturno, a entalpia do protótipo com forro será maior que o sem forro. A Figura 50 apresentam os dados relativos ao cálculo da entalpia dos protótipos com forro e sem forro onde é possível observar esse fenômeno.

Figura 50 - Valores médios de entalpia dos protótipos

Fonte: Própria autoria.

De acordo com Barbosa Filho et al. (2007) a entalpia de conforto térmico para aves de corte corresponde entre 80-86,6 kJ/kg de ar seco na primeira semana de vida, 73-79,9 para a segunda semana, 66,8-73,9 referente a terceira semana, 63-68,2 durante a quarta semana, 56,3-64,6 na quinta semana e por fim 54,7-62,9 para sexta semana de vida.

Nota-se pela Figura 50, que durante o período mais crítico do dia (10h00min a 16h00min), apenas o protótipo provido de forro, no horário das 10h00min apresentou conforto térmico correspondente a primeira semana de vida, enquanto que nos outros horários, os ambientes dos protótipos exibiram desconforto térmico por calor.

Durante o período noturno, ambos os protótipos apresentaram desconforto térmico por frio nas primeiras duas semanas. Embora o protótipo com forro tenha apresentado desconforto térmico menor se comparado ao ambiente sem forro.

O IAPfc é definido por um índice estatístico de conforto térmico com o intuito de avaliar o ambiente térmico para frangos de corte. A caracterização desse índice relaciona a temperatura do ar, umidade relativa e a velocidade do ar.

Assim como na entalpia, a temperatura ambiente e umidade relativa foram as variáveis que tiveram maior influência no desempenho do IAPfc nos protótipos, pois foi constatada diferença estatística para essas variáveis térmicas. Dessa maneira, é possível visualizar na Figura 51 que o protótipo com forro apresentou diferença significativa do IAPfc, tanto na estação de primavera de 2017, quanto na estação de verão de 2018.

Figura 51 – Valores médio de IAPfc dos protótipos

Fonte: Própria autoria.

Medeiros et al. (2005), classificaram os valores de IAPfc como ambiente térmico confortável no intervalo de 21 a 24; entre os intervalos de 19 a 20 e 25 a 27 moderadamente desconfortável; abaixo de 19 e entre 28 a 30 como desconfortável; entre 31 a 34 extremamente desconfortável e perigoso quando o valor é igual ou superior a 35.

Dessa maneira, é possível observar na Figura 51, de modo geral que os ambientes térmicos dos protótipos com forro apresentaram valores inferiores aos protótipos

desprovidos de forro durante as horas mais quentes do dia. Entretanto, a fim de classificar os horários com base nos valores de IAPfc, observa-se que às 08h00min, o protótipo provido de forro foi classificado como confortável, às 10h00min e 18h00min foram os horários classificados como extremamente desconfortável, enquanto que nos demais horários, o ambiente foi perigoso para aves tanto no protótipo com forro quanto para o protótipo sem forro.

No caso do período noturno, nota-se que em todos os horários para a estação de verão de 2018, os protótipos com forro apresentaram valores inferiores quando comparados com o protótipo sem forro. Sendo que no horário das 20h00min foi moderadamente desconfortável para ambos os protótipos.

5.3.2 Considerações parciais da terceira fase

Os ensaios executados nos protótipos revelaram que a proposta de aplicação de um forro de painel OSB de madeira Balsa residual é eficiente em atenuar os índices térmicos para avicultura de corte.

Em razão do forro conceber uma nova camada de resistência térmica e por apresentar menores temperaturas superficiais em relação à telha, a temperatura interna do ar é menor no protótipo com forro. No caso da umidade relativa, o forro só apresenta efeito na primavera, sendo que nessa estação, o protótipo composto pelo forro exibe valor médio superior ao protótipo sem forro.

A combinação da temperatura do ar e umidade relativa quantificados no interior dos protótipos determinaram a Entalpia e o IAPfc. Para a Entalpia, nas estações quentes (primavera e verão) o protótipo com forro, apresentou ambiente confortável somente as 10h00min na primeira semana de vida, enquanto que nas demais fases de criação ocorrem desconforto térmico. Embora o protótipo com forro tenha apresentado desconforto térmico para as outras semanas de vida, maiores são as facilidades para ajustar o ambiente térmico, uma vez que esse apresenta menores valores de Entalpia.

Em relação ao IAPfc, nas estações de primavera e verão, o protótipo com forro apresentou valores médios inferiores ao protótipo sem forro, e em alguns casos até ficou na zona de conforto térmico (8 horas) no verão.

6 Conclusões

Esse estudo revela o potencial de uso de madeira Balsa residual para produção de painéis OSB com vistas de aplicação como forro em aviários.

A variação na densidade e no teor de resina proporcionou diferenças significativas entre as propriedades físicas, mecânicas e térmicas dos painéis, sendo que aqueles produzidos com densidade 400 kg/m^3 e teor de resina de 15% apresentaram melhor desempenho para aplicação como forro.

A aplicação do painel OSB de madeira Balsa residual como forro proporcionou uma redução na transferência de energia térmica para o interior dos protótipos de instalações avícolas avaliados, refletindo assim na redução da temperatura ambiente e nos índices de conforto térmico aferidos durante a primavera e verão, que são as estações climáticas consideradas mais severas para avicultura de corte.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF 2013 - ano base 2012**. Brasília: STCP Engenharia de Projetos, 2013.
- ABREU, P. G. et al. Condições térmicas ambientais e desempenho de aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária**, Belo Horizonte, v. 59, n. 4, p. 1014-1020, 2007.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM D 6272**: Standard test method for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials by four-point bending. Philadelphia: ASTM, 2017. 9 p.
- _____. **ASTM E 1530**: Standard test method for evaluating the resistance to thermal transmission of materials by the guarded heat flow meter technique. West Conshohocken: ASTM, 2011.
- ANCIENT, B. J. The development of balsa wood laminates: a short account of the use of balsa wood laminates as a structural material for aircraft. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, Bingley, v. 40, n. 10, p. 29-30, 1968.
- AL-HOMOUD, M. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. **Building and Environment**, Kidlington, v. 40, p. 353-366, 2005.
- ARAUJO, L. C. R. **Caracterização química e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos**. 1992. 105 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Física e Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14810-3**: Chapas de madeira aglomerada: Parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-97**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto térmico animal**. Viçosa, MG: UFV, 2010.
- BARBIRATO, G. H. A. et al. Desempenho térmico de bezerreiros cobertos com telha de fibrocimento e forro ecológico de subprodutos agroindústrias associado a materiais isolantes. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 9, p. 261-267, 2015.

BARBIRATO, G. H. A. **Forro OSB de madeira Balsa residual aplicado em protótipo de aviário**. 2018. 110 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

BARBOSA FILHO, J. A. D. et al. Mudanças e uso das tabelas de entalpia. Piracicaba, 2007. Disponível em: <<http://www.nupea.esalq.usp.br>>. Acesso em: 02 maio 2018.

BAYER, O. Polyurethanes. **Modern Plastics**, Los Angeles, v. 24, p. 149, 1947.

BONDUELLE, G. M.; IWAKIRI, S. Fatores que influenciam no rendimento em laminação de Pinus spp. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 35-41, 2006.

BORREGA, M.; AHVENAINEN, P.; GIBSON, L. Mechanics of balsa (Ochroma pyramidale) wood. **Mechanics of Materials**, Amsterdam, v. 84, p. 75-90, 2015.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis compensados e OSB. **Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 4, p. 557-564, 2004.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de Pinus elliotti Engelm. Var. elliotti plantado no sul do Brasil**. 1995. 123 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BUFALINO, L. et al. Alternative compositions of oriented strand boards (OSB) made with commercial woods produced in Brazil. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, Concepción, v. 17, n. 1, p. 105-116, 2015.

CAMERINI, N. L. et al. Análise de variáveis ambientais em modelos reduzidos de instalações agropecuárias com forro de resíduo de EVA. **Revista eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 40-47, 2009.

CARVALHO, H. G. **Materiais de coberturas e suas associações a forros e materiais isolantes no ambiente térmico de protótipos abertos e fechados com vistas a produção de frangos de corte em clima quente**. 2013. 108 f. Tese (Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa.

CAPRINO, G.; LOPRESTO, V. The significance of indentation in the inspection of carbon fibre-reinforced plastic panels damaged by low-velocity impact. **Composites Science and Technology**, Kidlington, v. 60, p. 1003-1012, 2000.

CASTRO, S. et al. Resistência mecânica de painéis OSB de pinus e eucalipto. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADERIAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 13., 2012, Vitória. **Anais...** Vitória, 2012. 1 CD-ROM.

CASTRO JÚNIOR S. L. et al. Thermal comfort in individual shelters for calves with non-conventional ceiling made of agro-industrial by-products. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 11, p. 317-325, 2017.

CASSUCE, D. C. **Determinação das faixas de conforto térmico para frangos de corte de diferentes idades criados no Brasil**. 2011. 103f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

CONCEIÇÃO, M. et al. Desempenho de telhas de escória de alto forno e fibras vegetais em protótipos de galpões. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 536-539, 2008.

CLOUTIER, A. Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties, and uses. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1998, Belo Horizonte, MG. **Proceedings...** Belo Horizonte, MG, 1998. p. 173-185.

CRAVO, J. C. M. **Relatório de Estágio Supervisionado – Integradora no Estado de São Paulo**. Universidade Estadual Paulista – Dracena. São Paulo, p. 190, 2010.

CRAVO, J. C. M. **Painéis de partículas de saco de cimento e embalagem longa vida aplicados como forro em protótipos de aviários**. 2015. 162 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

CRAVO J. C. M. et al. Manufacture of particleboard based on cement bag and castor oil polyurethane resin. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 87, p. 8-15, 2015.

CURTOLO, D. D. **Estudo da viabilidade de produção de painéis de partículas homogêneas de maravalha de *Pinus spp* e fibra da casca de coco verde**. 2013. 68 f. Monografia (Engenharia de Biosistemas) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

D'ALMEIDA, M. L. O. Composição química dos materiais lignocelulósicos. In: D'ALMEIDA, M. L. O. et al. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: SENAI/IPT, 1988. v. 1, cap. 3, p. 45-106.

DANIELS, P. L. **Working with Balsawood** – the definitive guide to using Balsa. 2013. Disponível em: <<http://pldaniels.com/flying/balsa/balsa-properties.html>>. Acesso em: 02 maio 2018.

DA SILVA, A.; KYRIAKIDES, S. Compressive response and failure of balsa wood. **International Journal of Solids and Structures**, Kidlington, v. 44, p. 8685-8717, 2007.

EASTERLING, K. E. et al. On the mechanics of balsa and other woods. **Proceedings of The Royal Society A**, London, v. 383, p. 31-41, 1982.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard - EN 300: oriented strand boards (OSB): definitions, classification and specifications**. Portugal, 2002.

_____. **EN 310:** Wood-based panels: determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Bruxelas, 1993.

_____. **EN 317:** Particleboards and fibreboards: determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas, 1993.

_____. **EN 323:** Wood-based: determination of density. Bruxelas, 1993.

_____. **EN 319:** Particleboards and fibreboards: determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Bruxelas, 1993.

_____. **EN 326:** Wood-based panels: sampling, cutting and inspection. Bruxelas, 1994.

_____. **EN 12369:** Wood-based panels - characteristic values for structural design - Part 1: OSB, particleboards and fiberboards. Norma européia para painéis OSB e painéis de fibra. Irlanda, 2001.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood chemistry, ultra structure- reactions**. Berlin: Walterde Gruyter, 1984.

FERNÁNDEZ, M. A. V. **Avaliação dos processos de polpação soda-antraquinona e bissulfito-base magnésio para bambu**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FERRO, F. S. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) com Schizolobium amazonicum e resina poliuretana à base de óleo de mamona**. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

FERRO, F. S. et al. Painéis OSB com madeira *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 313-320, 2015.

FIORELLI, J. et al. Avaliação da eficiência térmica de telha reciclada à base de embalagens longa vida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n. 2, p. 201-206, 2008.

FIORELLI, J. et al. Physico-chemical and anatomical characterization of residual lignocellulosic fibers. **Cellulose**, Dordrecht, v. 21, p. 3269-3277, 2014.

FINGER, Z.; LOGSDON, N. B.; ROCHA, K. J. Descrição dendrológica e caracterização física da madeira de Pau-de-balsa, *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam) Urb. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2012, Vitória. **Anais...** Vitória: UFES, 2012. 1 CD-ROM.

GIBSON, L. J.; ASHBY, M. F. **Cellular solids: structure and properties**. Cambridge: University Press, 1997.

- GOMES, R. C. C. et al. **Conforto térmico em abrigos construídos com bambu utilizando diferentes coberturas**. 2006. Disponível em: <http://www.prp.ueg.br/06u1/ctd/pesq/inic_cienc/eventos/sic2007/flosnsic2007/arquivos/resumos/resumo113.pdf>. Acesso em: 02 maio 2018.
- HELLMEISTER, J. C. **Sobre a determinação das características físicas da madeira**. 1982. 119 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.
- HELLMEISTER, V. **Painel OSB de resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*)**. 2017. 146 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017.
- HIGA, A. R.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *P. elliotii* var. *elliotii* e *P. taeda*. **IPEF**, Monte Alegre, n. 7, p. 79-91, 1973.
- HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.
- HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e cácianegra. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 59-65, 2002.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6603: Plastics - determination of puncture impact behaviour of rigid plastics -- Part 2: instrumented impact testing**. 2000. 23p.
- IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus**. 1989. 129 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.
- IWAKIRI, S. et al. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas - OSB. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 46-52, 2004.
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba, PR: FUPEF, 2005.
- IWAKIRI, S. et al. Influência da espessura de partículas e reforço laminar nas propriedades dos painéis de partículas orientadas OSB de *Pinus taeda* L. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 116-122, jan./mar. 2009.
- JÁCOME, I. M. T. D. et al. Avaliação dos índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 527-531, 2007.
- JANSSENS, D. P. The increasing recognition of oriented stranboard (OSB) as referred structural panel. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS

OF HIGH TECHNOLOGY, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 169-172.

JESUS, J. H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada**. 2000. 106 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000

KELLY, M. W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. Madison, U.S.: Department of Agriculture, 1977. (General Technical Report, FPL-10).

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. Berlim: Springer-Verlag, 1975.

KNOELL, A. C. Physical and environmental effects on the energy dissipating characteristics of balsa wood. **SAE Transactions**, Warrendale, v. 75, n. 3, p. 315-323, 1967.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas**: posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1990.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F.; ALENCAR, J. C. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1979.

LOURENÇONI, D. **Análise do ambiente em galpões de poedeiras comerciais telados**. 2013. 89 f. Dissertação (Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

LP Brasil. 2014. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/ensaios/Index.asp>>. Acesso em: 02 maio 2018.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte. In: FURLAN, R. L.; MACARI, M. Termorregulação. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2002. p. 209-230.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1993.

MANTILLA CARRASCO, E. V. **Ligações estruturais de madeira por adesivos**. 2 v. 1984. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1984.

- MATOS, J. L. M. **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais “Waferboards”**. 1988. 163 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.
- MEDEIROS, C. M. et al. Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 660-665, 2005.
- MEGATON, A. S. et al. Composição química da madeira de eucalipto. IN: REUNIÃO ANNUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 29., 2006, Águas de Lindóia, SP. **Anais...** Águas de Lindóia, 2006. 1 CD-ROM.
- MENDES, L. M. ***Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 103 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- MENDES, L. M. et al. *Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 135-145, dez. 2002.
- MICHELAN FILHO, T.; MENDONÇA SOUZA, E. Genética avícola. In: MENDES, A. A.; NÄÄS, I. A.; MACARI, M. **Produção de frangos de corte**. Campinas: Fundação APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas, 2004. p. 24-34.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.
- MORAES, S. R. P. et al. Conforto térmico em galpões avícolas, sob coberturas de cimento – amianto e suas diferentes associações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.82-89, 1999.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard**: materials. London: Southern Illinois University Press, 1974. v. 1.
- NÄÄS, I. A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone, 1989.
- NOURBAKHS, A.; FARHANI BAGHLANI, F.; ASHORI, A. Nano-SiO₂ filled rice husk/polypropylene composites: physic-mechanical properties. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 33, n.1, p. 183-187, 2011.
- OLIVEIRA, J. E. et al. Efeito do isolamento térmico de telhado sobre o desempenho de frangos de corte alojados em diferentes densidades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 1427-1434, 2000.
- PACHECO, A. **Competição de pontes de madeira balsa**. 2013. Disponível em: <<http://chasqueweb.ufrgs.br/~apacheco/balsa/midia/bau/PropriedadesBalsa.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2018.
- PARGA, A. J. S. **Aplicação de partículas longas e orientadas de bagaço de cana-de-açúcar na produção de painel particulado similar ao OSB**. 2006. 144 f. Tese

(Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

RODRIGUES, V. C. et al. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal of Biometeorology**, Heidelberg, v. 55, p. 455-459, 2011.

SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SALMAN, A. K. D. et al. **Metodologias para avaliação de alimentos para ruminantes domésticos**. Porto Velho: Embrapa, 2010.

SANTOS, R. C. et al. Análise de coberturas com telhas de barro e alumínio, utilizadas em instalações animais para duas distintas alturas de pé-direito. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Paraíba, v.6, n.1, p. 142 – 146, 2002.

SARASINI, F. et al. Hybrid composites based on aramid and basalt woven fabrics: Impact damage modes and residual flexural properties . **Materials & Design**, London, v. 49, p. 290-302, Ago. 2013.

SARASINI, F. et al. Damage tolerance of carbon/flax hybrid composites subjected to low velocity impact. **Composites Part B: Engineering** , Kidlington, v. 91, p. 144-153, abr. 2016.

SEDER-MT. **Diretrizes técnicas para o cultivo de pau de balsa no estado de Mato Grosso**. Cuiabá, MT: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Rural do Estado de Mato Grosso, 2011.

SEVEGNANI, K. B.; GHELFI FILHO, G.; SILVA, I. J. O. Comparação de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 1-7, 1994.

SILVA, A. J. P. **Aplicação de partículas longas e orientadas de bagaço de cana-de-açúcar na produção de painel particulado similar ao OSB**. 2006. 167 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Física de São Carlos, São Carlos, 2006.

SOUZA, A. M. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de Pinus sp com inclusão de telas metálicas**. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paula, São Carlos, 2012.

SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de Pinus elliottii var. elliottii x Pinus caribaea var. hondurensis**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 2012.

TEODORO, A. S. **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

TINÔCO, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepção e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2001.

TSOUMIS, G. Veneer. In: _____. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York, 1991. p. 309-339.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. New York: Cornell University Press, 1994.

VIEIRA M. C.; BRITO E. O.; GONÇALVES F. G. Evolução econômica do painel compensado no Brasil e no mundo. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 277-285, 2012.

VILA ZEGARRA, B. E. **Caracterização da estrutura anatômica e da densidade do lenho de Pinus taeda e efeito nas propriedades tecnológicas dos painéis OSB**. 2011. 121 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

VITAL, B. R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard**. 1973. 111 p. Dissertation (M.S.) – University of Wisconsin, Madison, 1973.

VURAL, M.; RAVICHANDRAN, G. Microstructural aspects and modeling of failure in naturally occurring porous composites. **Mechanics of Materials**, Amsterdam, v. 35, p. 523-536, 2003.

ZHANG , Z. Y.; RICHARDSON, M. O. W. Low velocity impact induced damage evaluation and its effect on the residual flexural properties of pultruded GRP composites. **Composite Structures**, London, v. 81, p. 195-201, 2007.

ZHANG, LI. e YINGCHENG, HU. Novel lignocellulosic hybrid particleboard composites made from rice straws and coir fibers. **Materials and Design**, v. 55, p. 19-26, 2013.

WANG, S. H. **Construction materials science**. Beijing: China Construction Industry Publisher, 1988.

WANG, S. X. et al. Low-velocity impact and residual tensile strength analysis to carbon fiber composite laminates. **Materials & Design** , London, v. 31, n. 1, p. 118-125, 2010.

ANEXO 1 – TABELAS DA EN 300/2002

Tabela 14: Painéis para usos gerais, incluindo mobiliário, interiores, utilizados em ambiente seco.

Placa tipo OSB/ 1	Norma e Unidade		Requisitos		
Propriedade			Espessura do painel (mm).		
			6 a 10	> 10 e < 18	18 a 25
MOR Direção longitudinal	EN 310	MPa	20	18	16
MOR Direção transversal	EN 310	MPa	10	9	8
MOE Direção longitudinal	EN 310	MPa	2500	2500	2500
MOE Direção transversal	EN 310	MPa	1200	1200	1200
Adesão interna	EN 319	MPa	0,30	0,28	0,26
Inchamento em espessura (24h)	EN 317	%	25	25	25

Fonte: EN 300/2002.

Tabela 15: Painéis para fins estruturais utilizados em ambiente seco - requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.

Placa tipo OSB/ 2	Norma e Unidade		Requisitos		
Propriedade			Espessura do painel (mm).		
			6 a 10	> 10 e < 18	18 a 25
MOR Direção longitudinal	EN 310	MPa	22	20	18
MOR Direção transversal	EN 310	MPa	11	10	9
MOE Direção longitudinal	EN 310	MPa	3500	3500	3500
MOE Direção transversal	EN 310	MPa	1400	1400	1400
Adesão interna	EN 319	MPa	0,34	0,32	0,30
Inchamento em espessura (24h)	EN 317	%	20	20	20

Fonte: EN 300/2002.

Tabela 16: Painéis para fins estruturais utilizados em ambiente úmido - requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.

Placa tipo OSB/ 3	Norma e Unidade		Requisitos		
Propriedade			Espessura do painel (mm).		
			6 a 10	> 10 e < 18	18 a 25
MOR Direção longitudinal	EN 310	MPa	22	20	18
MOR Direção transversal	EN 310	MPa	11	10	09
MOE Direção longitudinal	EN 310	MPa	3500	3500	3500
MOE Direção transversal	EN 310	MPa	1400	1400	1400
Adesão interna	EN 319	MPa	0,34	0,32	0,30
Inchamento em espessura (24h)	EN 317	%	15	15	15

Fonte: EN 300/2002.

Tabela 17: Painéis para fins estruturais especiais utilizados em ambiente úmido - requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.

Placa tipo OSB/ 4	Norma e Unidade		Requisitos		
Propriedade			Espessura do painel (mm).		
			6 a 10	> 10 e < 18	18 a 25
MOR Direção longitudinal	EN 310	MPa	30	28	26
MOR Direção transversal	EN 310	MPa	16	15	14
MOE Direção longitudinal	EN 310	MPa	4800	4800	4800
MOE Direção transversal	EN 310	MPa	1900	1900	1900
Adesão interna	EN 319	MPa	0,50	0,45	0,40
Inchamento em espessura (24h)	EN 317	%	12	12	12

Fonte: EN 300/2002.

Observação: Se o comprador notificar que os painéis são destinados a uma utilização específica em pavimento, parede ou telhado, a Norma de desempenho correspondente também tem de ser consultada. Este fato pode implicar a observância de requisitos adicionais.