UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTO

JULIO CESAR MACHADO CRAVO

**Painéis de partículas de saco de cimento e embalagem longa vida aplicados como forro
em protótipos de aviários**

Pirassununga

2016

JULIO CESAR MACHADO CRAVO

**Painéis de partículas de saco de cimento e embalagem longa vida aplicados como forro
em protótipos de aviários**

VERSÃO CORRIGIDA

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências do programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal.

Orientador: Prof. Dr. Juliano Fiorelli

Pirassununga

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Serviço de Biblioteca e Informação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo

C898p Cravo, Julio Cesar Machado
Painéis de partícula de saco de cimento e embalagem
longa vida aplicados como forro em protótipos de aviários
/ Julio Cesar Machado Cravo. -- Pirassununga, 2015.
160 f.
Tese (Doutorado) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Biossistemas.
Área de Concentração: Qualidade e Produtividade
Animal.

Orientador: Prof. Dr. Juliano Fiorelli.

1. Avicultura 2. Construções rurais
3. Sustentabilidade. I. Título.

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – o autor”

JULIO CESAR MACHADO CRAVO

Painéis de partículas de saco de cimento e embalagem longa vida aplicados como forro em protótipos de aviários

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências do programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

Aprovada: 03/03/2016

Frederico Márcio Corrêa Vieira
Doutor em Física do Ambiente Agrícola
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFP/Dois Vizinhos

Julio Cesar de Carvalho Balieiro
Doutor em Genética e Melhoramento
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – USP/Pirassununga

João Adriano Rossignolo
Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – USP/Pirassununga

Maria de Fátima do Nascimento
Doutora em Ciências e Engenharia de Materiais
Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras – USP/São Carlos

Juliano Fiorelli
Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – USP/Pirassununga
(Orientador)

DEDICATÓRIA

À minha família, especialmente a minha mãe, Sônia Maria Machado, a qual pugnou bravamente todos os dias de sua vida para me conceder a oportunidade de senhorear mais um degrau da escada evolutiva em minha jornada pelo plano físico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pai celeste, por conceder em minha linha de tempo, a oportunidade de abarcar conhecimentos da esfera acadêmica ao lado de grandes doutores.

Aos meus mestres e conselheiros espirituais, os quais me guiaram desde a infância no caminho da humildade, respeito, dignidade, lealdade e simplicidade, aconselhando sempre nos momentos em que as pedras e os espinhos obstruíam a minha caminhada.

Ao meu mentor espiritual, por estar sempre onipresente em minha mente e coração, vibrando sempre energias positivas nas composições desses vocábulos.

A condescendência e apoio incondicional de todos os membros de minha sagrada família, durante os momentos de dificuldades em minha jornada.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, por conceder a oportunidade de realizar o curso de doutorado.

Ao Professor Dr. Juliano Fiorelli, pela atenção, dedicação, orientação e confiar no meu potencial desde a graduação.

Ao Professor Dr. Holmer Savastano Junior, pela oportunidade de fazer parte da equipe do Constrambi.

Ao Professor Dr. Julio Cesar de Carvalho Balieiro, por toda a gentileza, atenção e suporte na execução desse trabalho.

Ao Professor Dr. Douglas Emygdio de Faria, pela ajuda prestada no ensaio de desempenho térmico dos protótipos experimentais.

Ao Cláudio Oliveira Silva, gerente de inovação e sustentabilidade da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), pelo suporte concedido na obtenção e transformação dos sacos de cimento.

Ao Gustavo Methner Schmidt, graduando do curso de Engenharia de Biossistemas, pela ajudada prestada durante a fase experimental.

Aos amigos, Diogo de Lucca Sartori, Erika Yukari Nakanishi, Zaqueus Dias de Freitas, Diego Luis Ferrari, Mariana Pavesi, Matheus Roberto Cabral e aos demais integrantes do grupo Constrambi, pelo apoio durante a execução do trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão da bolsa de doutorado e pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa.

A todos esses agradeço de alma e coração, pois jamais teria consumado com êxito o fim dessa labuta.

EPÍGRAFE

Os homens semeiam na terra o que colherão na vida espiritual:
os frutos de sua coragem ou da sua fraqueza

Allan Kardec

RESUMO

CRAVO, J.C.M. Painéis de partículas de saco de cimento e embalagem longa vida aplicados como forro em protótipos de aviários. 2016. 160 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

No presente trabalho, considerou o estudo do potencial de utilização de sacos de cimento e embalagens de longa vida com o intuito de agregar valor a esses resíduos, mediante a fabricação de painéis de partículas para uso como forro em protótipos de galpões avícolas. Para fabricação desse material foi utilizado sacos de cimento descartados nas obras civis, embalagens longa vida residuais e resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona. O estudo foi dividido em quatro etapas: 1) Caracterização da matéria-prima (sacos de cimento); 2) Efeito da densidade e teor de resina nas propriedades físicas, mecânicas e térmicas de painéis de partículas de saco de cimento; 3) Avaliação do desempenho de embalagens longa vida e verniz como revestimentos dos painéis selecionados na etapa anterior; 4) Determinação do desempenho térmico de protótipos de aviários executados em escala reduzida e distorcida com forro de painel de saco de cimento e embalagem longa vida. Os resultados obtidos indicaram: Em razão do painel com $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ e 12% de resina ter apresentado melhor desempenho nas propriedades investigadas, essa combinação foi selecionada para avaliar o desempenho do material (físicas, mecânicas e térmicas) quando revestido com embalagens longa vida, adotando a testemunha e o verniz como um revestimento comparativo. Dentre os revestimentos avaliados, os painéis com embalagens de longa vida, foram superiores aos revestidos com verniz, quando comparados as suas propriedades físicas, mecânicas e térmicas. Dessa maneira, painéis com $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ e 12% de resina revestidos embalagens longa vida, foram testados como forro quanto ao desempenho térmico (primavera, verão, outono e inverno) em protótipos em escala reduzida e distorcida, mediante a determinação de índices de conforto térmico (Entalpia e IAPfc) para aves de corte. A associação do forro sob o protótipo permitiu reduzir a temperatura interna do ar e dos índices de conforto térmico na primavera, verão e outono, enquanto que no inverno não foi constatado eficácia do material. Dentre as estações estudadas, o verão e a primavera, demonstraram serem as épocas mais críticas para criação de aves corte em instalações avícolas que apresentem características semelhantes aos protótipos experimentais.

Palavras-chave: avicultura; construções rurais; sustentabilidade; conforto térmico; isolante térmico

ABSTRACT

CRAVO, J.C.M. **Particleboards of cement bag and long-life packaging applied as lining in avian prototypes**. 2016. 160 f. Thesis (Doctorate) – Faculty of Animal Science and Food Engineering, University of São Paulo, Pirassununga, 2016.

In this study, the study of the potential use of cement bags and long-life packaging is considered in order to add value to this waste, by manufacturing particleboards as insulating panels in poultry house facilities. For the production of this material cement bags discarded in civil works, long-life packaging discarded by consumers and two-component polyurethane resin based on castor oil base were used. The study was structured in four steps: 1) Characterization of the raw material (cement bags), 2) Effect of the density and the level of resin on the physical, mechanical and thermal properties of cement particles bag panels, 3) Evaluation of long-life packaging and varnish as a coating of selected panels in precedent step and 4) Evaluation of thermal performance of poultry prototypes in reduced and distorted scale with the long-life packaging as a coating material. The cement bags were disintegrated and transformed into particles with the 8% of moisture content. Subsequently, these particles were mixed with bicomponent polyurethane based on castor oil resin and taken into a planetary mixer (MT120) in order to homogenize the mixture of the particles with the resin. Panels were made for three different densities (0.4, 0.5 and 0.6 g.cm⁻³) with two resin levels (12 and 15%) and their physical, mechanical and thermal properties were evaluated. Because the panel with 0.6 g.cm⁻³ and 12% resin have shown a better performance in the investigated properties, this combination has been selected to evaluate the performance of the material (physical, mechanical and thermal) when coated with long-life packaging, adopting the control and the varnish as a comparative coating. Among the evaluated coatings, panels with long-life packaging, presented higher performance than those coated with varnish regarding their physical, mechanical and thermal properties. Thus, the combination of 0.6 g.cm⁻³ and 12% resin coated long-life packages were tested as lining according the thermal performance (spring, summer, autumn and winter) in prototypes and small-distorted scale by determining thermal comfort indices (Enthalpy and IAPfc) for broilers. The association of lining under the prototype reduced indoor air temperature and thermal comfort indices in spring, summer and autumn, while during the winter no effectiveness of the material was observed. Among the studied seasons, the spring and summer, proved to be the most critical time for cut birds breeding in poultry houses that have characteristics similar to experimental prototypes.

Keywords: poultry, rural buildings, sustainability; thermal comfort; thermal insulation

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 Conforto térmico na avicultura de corte.....	17
3.1.1 Panorama econômico	17
3.1.2 Ambiente externo	18
3.1.3 Instalações avícolas	19
3.1.3.1 Modificações ambientais em instalações avícolas	20
3.1.3.2 Coberturas em instalações avícolas	21
3.1.3.3 Forro em instalações avícolas.....	23
3.1.3.4 Modelos em escala reduzida e distorcida	25
3.1.4 Variáveis térmicas	27
3.1.4.1 Temperatura do ar	27
3.1.4.2 Velocidade do vento	29
3.1.4.3 Umidade relativa	31
3.1.4.4 Radiação solar	32
3.1.5 Índice de conforto térmico	32
3.1.5.1 Entalpia.....	33
3.1.5.2 Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte (IAPfc)	34
3.2 Painéis particulados aglomerados	35
3.2.1 Painéis de madeira.....	35
3.2.2 Painéis de madeira aglomerada	37
3.2.2.1 Histórico	37
3.2.2.2 Classificação dos painéis aglomerados de madeira.....	38
3.2.2.3 Processo de produção	39

3.2.2.4 Adesivo	40
3.2.2.5 Painéis isolantes à base de resíduos agroindustriais.....	41
3.3 Propriedades térmicas dos materiais	45
3.3.1 Condutividade térmica	46
3.3.2 Resistência térmica.....	46
3.3.3 Fator solar de elementos opacos.....	47
3.3.4 Emissividade	48
3.4 Isolantes reflexivos.....	48
3.5 Setor de celulose e papel	49
3.6 Conclusão da revisão.....	51
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	53
4.1 Fluxograma do projeto	53
4.2 Primeira fase – caracterização da matéria-prima	54
4.2.1 Materiais.....	54
4.2.2 Processo de desintegração dos sacos de cimento	55
4.2.3 Classificação granulométrica	57
4.2.4 Densidade real das partículas	58
4.2.5 Análise microestrutural	58
4.2.6 Composição química.....	59
4.3 Segunda fase – Avaliação da densidade e teor de resina.....	59
4.3.1 Produção dos painéis.....	59
4.3.2 Propriedades físicas.....	61
4.3.2.1 Densidade aparente	61
4.3.2.2 Absorção de água	62
4.3.2.3 Inchamento em espessura.....	80
4.3.2.4 Análise experimental.....	63
4.3.3 Propriedades mecânicas	63
4.3.3.1 Resistência e módulo elástico a flexão.....	64

4.3.3.2 Análise experimental.....	65
4.3.4 Propriedades térmicas	65
4.3.4.1 Condutividade e resistência térmica.....	65
4.3.4.2 Fator solar.....	67
4.3.4.3 Análise experimental.....	69
4.3.5 Seleção da densidade e teor de resina	69
4.4 Terceira fase – Avaliação das embalagens longa vida e verniz como revestimento	69
4.4.1 Propriedades físicas.....	69
4.4.1.1 Absorção de água	70
4.4.1.2 Inchamento em espessura.....	70
4.4.1.3 Análise experimental.....	71
4.4.2 Propriedades mecânicas	71
4.4.2.1 Resistência e módulo elástico à flexão.....	71
4.4.2.2 Análise experimental.....	72
4.4.3 Propriedades térmicas	72
4.4.3.1 Condutividade e resistência térmica.....	72
4.4.3.2 Fator solar.....	73
4.4.3.3 Emissividade	73
4.4.3.4 Análise experimental.....	74
4.5 Quarta fase – Desempenho térmico dos painéis revestidos com embalagem longa vida aplicados como forro.....	75
4.5.1 Dimensões dos protótipos experimentais	75
4.5.2 Produção dos painéis de partículas revestidos com embalagens longa vida	75
4.5.3 Execução dos protótipos.....	76
4.5.4 Coleta dos dados ambientais no interior dos protótipos.....	77
4.5.5 Determinação dos índices de conforto térmico	78
4.5.5.1 Entalpia.....	78
4.5.5.2 Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte (IAPfc)	79
4.5.6 Análise experimental dos protótipos	79

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
5.1 Primeira fase – caracterização da matéria-prima	80
5.1.1 Produção das partículas	80
5.1.2 Análise granulométrica	83
5.1.3 Densidade real das partículas	84
5.1.4 Análise microestrutural	85
5.1.5 Espectro por energia dispersiva (EDS)	86
5.1.6 Composição química	88
5.1.7 Considerações parciais da fase 1	91
5.2 Segunda fase – Avaliação da densidade e nível de resina.....	92
5.2.1 Análise microestrutural dos painéis de partículas	92
5.2.2 Análise pressuposição ANOVA.....	93
5.2.3 Propriedades físicas.....	94
5.2.3.1 Análise descritiva	94
5.2.3.2 Análise inferencial.....	95
5.2.4 Propriedades mecânicas	102
5.2.4.1 Análise descritiva	102
5.2.4.2 Análise inferencial.....	103
5.2.5 Propriedades térmicas	106
5.2.5.1 Análise descritiva	106
5.2.5.2 Análise inferencial.....	106
5.2.6 Seleção da densidade e nível de resina.....	110
5.2.7 Considerações parciais da fase 2	113
5.3 Terceira fase – Avaliação das embalagens longa vida e verniz como revestimento	114
5.3.1 Análise pressuposição ANOVA.....	114
5.3.2 Propriedades físicas.....	115
5.3.2.1 Análise descritiva	115
5.3.2.2 Análise inferencial.....	116

5.3.3 Propriedades mecânicas	119
5.3.3.1 Análise descritiva	119
5.3.3.2 Análise inferencial.....	120
5.3.4 Propriedades térmicas	121
5.3.4.1 Análise descritiva	121
5.3.4.2 Análise inferencial.....	122
5.3.5 Considerações parciais da fase 3	124
5.4 Quarta fase – Desempenho térmico de protótipos de aviários com forro de painéis de partículas	124
5.4.1 Radiação solar	125
5.4.2 Desempenho térmico	125
5.4.2.1 Análise de pressuposição.....	125
5.4.2.2 Temperatura superficial.....	126
5.4.2.3 Variáveis térmicas	128
5.4.2.4 Índices de conforto térmico	136
5.4.4 Considerações parciais da fase 4	147
6. CONCLUSÃO	149
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	151

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a avicultura de corte no Brasil experimentou avanços na área de genética, sanidade e nutrição, que somado a organização da cadeia produtiva, rendeu ao país a posição de maior exportador de carne de frango, posição essa atingida desde 2004. Para os próximos anos, o cenário é favorável para essa atividade agropecuária, pois a relevância desse setor é atestada no estudo sobre Projeções do Agronegócio Brasileiro (2014/2015 a 2024/2025) efetuado pelo Brasil (2015), que apresenta crescimento anual de 3,0% para carne frango, a frente dos 2,9 e 2,1% indicados para carne bovina e suína, respectivamente.

No entanto, os modelos utilizados no estudo do Brasil (2015) estão sujeitos a incertezas, como por exemplo, mudanças climáticas severas, que podem alterar negativamente o cenário futuro da avicultura de corte brasileira, uma vez que as aves, por serem animais homeotérmicos, são sensíveis a mudanças de temperatura (DAMASCENO et al., 2011).

A suscetibilidade dos frangos de corte frente às mudanças de temperatura é relatada no trabalho de Oliveira et al. (2006). Nessa pesquisa, um dos itens avaliados pelos autores foi à influência da temperatura ambiente (16, 20, 25 e 32°C) sobre o desempenho (ganho de peso, consumo e conversão alimentar) de aves de corte da linhagem Avian Farms. Os pesquisadores constataram que tanto o aumento, quanto a redução da temperatura afeta negativamente o rendimento das aves, sendo a situação mais crítica foi aferida no ambiente com 32°C, sendo registrada redução significativa de 21,3% no ganho de peso e 11,7% no consumo de ração.

Essa queda na produtividade é explicada por Tinôco (2001), a qual afirma que em situações de temperatura ambiente superior à temperatura de conforto térmico das aves, há ocorrência de estresse térmico, estágio em que o ganho de calor das aves supera a perda de calor, sendo necessário que os animais lancem mão de recursos fisiológicos, comprometendo a produção, pois a energia de produção é desviada para dissipar o calor, resultando em queda do desempenho produtivo.

Para as próximas décadas, o governo brasileiro e os produtores avícolas devem estar em alerta, pois, segundo Guimarães et al. (2013), as temperaturas mínimas projetadas para o Brasil no ano de 2050 apresentarão amplitudes de variação entre 0,4 e 2,1°C, sendo que para o ano de 2100 essa variação será de 0,8 a 4,0°C. De acordo com os autores, as maiores variações de temperatura ocorrerão nas regiões sudestes e sul, onde hoje estão concentradas as criações avícolas.

A pesquisa de Borges et al. (2008) deixa evidente o impacto do aumento da temperatura sobre a avicultura de corte. Nesse trabalho, os pesquisadores investigaram a influência das mudanças climáticas no ambiente térmico interno de aviários na cidade de Lavras, simulando projeções de Índice de Temperatura de globo e umidade (ITGU) para os anos de 2020, 2050 e 2080, considerando dois tipos de materiais de cobertura (cerâmico e sanduiche). Em ambos os ambientes, os autores constataram que o aumento da temperatura implicará na elevação do ITGU (Índice de Temperatura de Globo e Umidade), sendo que os maiores valores foram registrados para o aviário com telha cerâmica. Além disso, os pesquisadores observaram que a cobertura sanduiche proporcionará maior resistência térmica, uma vez que foi diagnosticado desconforto térmico somente no ano de 2080, enquanto que na instalação com cobertura cerâmica, para o ano de 2020, já foi evidenciado desconforto térmico para aves de corte.

Conforme relatado no trabalho de Borges et al. (2008), a cobertura (principal elemento construtivo no controle da radiação solar do aviário) não será suficiente para proporcionar ambiente confortável às aves, sendo necessário a adição de outros dispositivos para redução da temperatura interna do ambiente, como, por exemplo, a associação de forro sob cobertura (TINÔCO, 2001). Essa técnica permite a formação de uma camada de ar com baixa condutividade térmica, reduzindo a transferência de calor às aves, durante os períodos mais quentes do ano, e reduzindo a perda de calor no inverno (MOURA, 2001).

Segundo Tinôco (2001) o poliuretano, eucatex, lã de vidro e similares são opções de materiais isolantes que podem ser utilizados como forro nos aviários. No entanto, Liang e Ho (2007) afirmam que alguns desses materiais isolantes (lã de vidro, polietileno, poliuretano e lã de rocha) apresentam índice de toxicidade superior a 1 (NAVAL ENGINEERING STANDARD, 1985), ou seja, são materiais que quando queimados, liberam gases tóxicos que podem provocar a morte de um humano em 30 minutos, podendo comprometer os funcionários e os animais em caso de incêndio.

Diante desse contexto, é possível verificar a necessidade de desenvolver novos materiais isolantes, com propriedades térmicas adequadas para aplicação em ambientes com altas temperaturas e que atendam as exigências de toxidades estabelecidas. Nesse âmbito, diversos pesquisadores têm investigado materiais isolantes à base de resíduos agroindustriais, tais como: casca de durian (KHEDARI; CHAROENVAI; HIRUNLABH, 2003), Kenaf (XU et al., 2004), fibras de algodão (ZHOU et al., 2010), folha de abacaxi (TANGJUANK, 2011), fibra de papiro (TANGJUANK; KUMFU, 2011), casca de coco e bagaço de cana-de-açúcar (PANYAKAEW; FOTIOS, 2011) e casca de amendoim com fibra de coco (CRAVO et al., 2014).

Além desses, os sacos de cimento oriundos das obras civis é outro resíduo com potencial de utilização para fabricação de materiais isolantes, uma vez que esses sacos quando descartados de maneira incorreta no ambiente, contaminam o ar, solo e lençol freático. Portanto, a reciclagem é um caminho alternativo para minimizar esse problema (REBOUÇAS et al., 2011).

Além dos sacos de cimento, as embalagens longa vida, quando descartadas, representam outra classe de resíduo sólido que pode ser reaproveitada para fabricação de materiais isolantes, uma vez que o alumínio presente nesse material pode ser utilizado como barreira radiante (MICHELS; LAMBERTS; GÜTHS, 2008).

Ante o exposto, esse trabalho teve como objetivo, desenvolver e produzir painéis de partículas de saco de cimento, resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona (PU-mamona) revestidos com embalagem longa vida para aplicação como forro em protótipos de aviários de frangos de corte.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Desenvolver e produzir painéis de partículas de saco de cimento, resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona (PU-mamona) revestidos com embalagem longa vida com vistas para aplicação como forro em protótipos de aviários de frangos de corte.

2.2 Objetivos específicos

- Produzir forro com saco de cimento, resina PU-mamona e embalagens longa vida;
- Avaliar o desempenho físico, mecânico e térmico desse material com vistas à aplicação como forro;
- Avaliar a eficiência do forro de saco de cimento revestidos com embalagem longa vida em protótipos de aviários de frangos de corte.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Conforto térmico na avicultura de corte

Esse item aborda as questões térmicas na avicultura de corte, sendo inicialmente discutida a influência das instalações avícolas na concepção do ambiente térmico para as aves de corte e posteriormente, a influência das variáveis térmicas no desempenho produtivo de aves de corte.

3.1.1 Panorama econômico

A avicultura é uma das atividades agropecuárias mais relevantes no contexto do agronegócio brasileiro, pois esse setor gera 3,5 milhões de empregos de forma direta e indireta e R\$ 36 bilhões em movimento econômico, o equivalente a 1,5% do PIB nacional (ABPA, 2015), colocando o Brasil na lista dos maiores exportadores e produtores de carne de frango.

Para os próximos anos, o cenário é favorável para essa atividade, pois o estudo sobre Projeções do Agronegócio Brasileiro (2014/2015 a 2024/2025) efetuado pelo Brasil (2015) indica um crescimento anual de 3,0% para carne frango, a frente dos 2,9 indicados para carne bovina e 2,1% para suína.

Embora a atmosfera seja favorável para o desenvolvimento pleno da avicultura de corte, produtores e empresas ligadas ao ramo defrontam com desafios que ainda impedem com que essa atividade atinja novos patamares de produtividade. Dentre esses desafios, o estresse térmico é um dos principais problemas para o desenvolvimento produtivo das aves de corte, uma vez que esses animais são mais susceptíveis ao calor. A magnitude desse desafio é registrada pelas perdas econômicas do setor, sendo que em 2014, o estado do Rio Grande do Sul, terceiro maior produtor do país, registrou perdas superiores a R\$ 5,4 milhões devido ao calor (ZERO HORA, 2014). Assim, para as próximas décadas, o governo brasileiro e os produtores avícolas precisarão buscar alternativas para minimizar o efeito do aumento gradual da temperatura.

3.1.2 Ambiente externo

Na produção avícola, o ambiente externo que circunda as aves, é constituído pela soma das variáveis físicas, químicas, biológicas, sociais e climáticas, as quais interagem diretamente com os animais, influenciando positivamente ou negativamente seu desempenho zootécnico (BAÊTA; SOUZA, 2010). Assim, o ambiente externo pode ser dividido conforme esquema apresentado na Figura 1.

No ambiente climático, também denominado como ambiente térmico, as variáveis que o compõem são: temperatura, umidade relativa, movimento do ar e radiação. Essa fração do ambiente é responsável por governar as trocas térmicas entre as aves e o ambiente externo, uma vez que esses animais comportam-se como um sistema termodinâmico (BAÊTA; SOUZA, 2010).

É diante desse contexto que surge a necessidade de estudar a influência do ambiente térmico na avicultura de corte, uma vez que no sistema intensivo, esses animais ficam confinados em aviários, reduzindo as manobras comportamentais para manutenção da homeostase térmica (FURLAN; MACARI, 2002).

Fonte: Própria autoria

3.1.3 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 Michelin 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.

Além disso, a linhagem Cobb, uma das raças mais empregadas no sistema produtivo da avicultura brasileira, denota alta susceptibilidade em desenvolver estresse térmico em regiões de climas quentes. Tal fato, está descrito no trabalho de Razuki et al. (2011) que avaliaram o desempenho zootécnico de quatro genótipos (Rose, Cobb, Hubbard e Lohmann) em altas temperaturas na região do Iraque. Os pesquisadores constataram que a linhagem Cobb apresentou a segunda pior conversão alimentar e taxa de mortalidade, sendo registrado 2,23 e 15,15% para esses dois índices zootécnicos, respectivamente. Assim, aviários que apresentem microclimas desconfortáveis, resultarão em grandes perdas econômicas para o produtor, devido à supressão do crescimento das aves e também pelas altas taxas de mortalidade.

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 mencionados pelos autores acima, o conhecimento das características térmicas dos materiais empregados na edificação dos aviários, denota relevância para a questão térmica nessas instalações, porque segundo esses pesquisadores, quando o ambiente interno de uma instalação zootécnica não é controlado por meios artificiais, os materiais influenciam significativamente na temperatura interna, afetando assim no conforto dos animais que estarão alojados.

Além disso, cabe ressaltar, que durante o planejamento dessas instalações também é preponderante a questão econômica desses materiais, uma vez que 50% do investimento em uma criação intensiva e semi-intensiva estão concentrados na construção das instalações e nos

materiais, principalmente de cobertura, os quais possuem alta relação com as condições térmicas da instalação (SEVEGNANI; FILHO; SILVA, 1994).

Dessa forma, sabendo-se da relevância que os materiais representam no âmbito econômico, torna-se necessário antes da concepção 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 radiante.

3.1.3.1 Modificações ambientais em instalações avícolas

Conforme descrito anteriormente, durante o ciclo produtivo das aves de corte, ocorre uma interação entre as aves e o ambiente térmico que as circundam, podendo essa interação ser positiva, quando o desempenho do animal é favorecido ou negativa, quando o desenvolvimento é inibido.

Sabendo-se que os materiais das instalações avícolas são determinantes na formação do ambiente térmico para aves, Curtis (1983, p. 407 apud TINÔCO, 2001, p. 1-26) estabeleceu duas classes de modificações ambientais: as primárias e as secundárias. As modificações primárias em sua acepção consistem em técnicas de execução que estão relacionadas com a instalação avícola e que favorecem a proteção das aves no clima quente ou frio. Nessa classe de modificação se enquadra as coberturas dos aviários, forros sob a cobertura, ventilação natural ao redor do aviário, quebra-ventos, cortinas laterais das instalações e o manejo do ambiente circundante ao galpão avícola.¹

¹ CURTIS, S.E. **Environmental management in animal agriculture**, 2 ed. Ames, Iowa: Iowa State University Press, 1983. 407 p.

De acordo com o autor acima, as modificações secundárias estão relacionadas com o manejo do ambiente interno dos aviários, as quais denotam em técnicas de níveis mais sofisticados, tais como: ventilação artificial, sistemas de arrefecimento e aquecimento. No entanto, essas modificações só deverão ser inseridas após exaurir todos os recursos das modificações primárias.

3.1.3.2 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 2.

Figura 2 – Esquema da radiação solar transmitida para uma instalação avícola

Fonte: Própria autoria

Bond et al. (1961, p. 7-8 apud TINÔCO, 2001, p. 1-26) quantificaram a radiação térmica em várias regiões da instalação e constataram que 28% da carga radiante era derivada do céu, enquanto que 21% oriunda do material de cobertura, 18% da área não sombreada e 33% da área sombreada pela cobertura. Dessa forma, os autores concluíram que o material de cobertura e sua sombra são responsáveis por mais de 50% da radiação térmica total.²

Assim, 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, absorbância, 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, 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 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, 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

² BOND, T.E. et al. Evaluation of materials for livestock shades. **California Agriculture**, Berkeley, v.15, n.1, p. 7-8, 1961.

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 telha reciclada à base de embalagens de longa vida e compararam seu desempenho com coberturas de 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.

3.1.3.3 Forro em instalações avícolas

Conforme relatado anteriormente, a cobertura é o elemento construtivo que mais influência o microambiente 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 as 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 3 ilustra essa condição. (Figura 3).

Figura 3 – Esquema de condução da radiação em instalação avícola provida de forro

Fonte: Própria autoria

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 4 a). Segundo o autor, aves mortas por estresse térmico apresentam coloração escura na fibra peitoral (Figura 4 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 4 – 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. **Integradora no Estado de São Paulo**. 2010. 190 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Estadual Paulista, Dracena, 2010.

Sabendo da importância dessa técnica, 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 aviários localizados 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 coberto 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.

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

3.1.3.4 Modelos em escala reduzida e distorcida

Para testar a eficiência térmica dos materiais para uma determinada instalação avícola, o uso de protótipos em escala reduzida e distorcida é uma alternativa mais econômica (JENTZSCH, 2002).

Segundo Jentzsch (2002), os modelos em escala reduzida foram desenvolvidos por Murpy (1950) que propôs a construção de protótipos experimentais mediante a uma escala pré-determinada, representando dessa forma o tamanho reduzido de um objeto em escala real. De acordo com Moura (1998), esses modelos podem ser construídos em escala reduzida e distorcida.

Dessa maneira, diversas pesquisas na avicultura foram realizadas utilizando modelos em escala reduzida e distorcida. Sevegnani (1997) avaliou a eficiência da tinta cerâmica quando pintada em coberturas de cimento-amianto e cerâmica. Para testar o efeito dessa tinta, a autora comparou o desempenho térmico com a cobertura de telha de cimento- amianto e telha cerâmica, ambas pintadas com látex comum. Para execução da pesquisa, a autora adotou a escala de 1:10 na horizontal e 1:2 na vertical, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Medidas de protótipos experimentais em escala reduzida e distorcida

	Dimensões		
	Real	1:10	1:2
Largura	14,00	1,40	
Comprimento	30,00	3,00	
Beiral	1,00	0,10	
Pé direito	3,00		1,50
Altura da parede	0,80		0,40
Espessura da parede	0,20		0,10

Fonte: SEVEGNANI, K. B. **Avaliação de tinta cerâmica em telhados de modelos em escala reduzida, simulando galpões para frangos de corte**. 1997, 74f. Dissertação (Construções Rurais) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

A fim de estudar a influência da orientação geográfica de uma edificação em sua eficiência térmica. Moura (1998) avaliou protótipos experimentais edificados na orientação leste-oeste e norte-sul empregando modelos em escala reduzida e distorcida. A escala utilizada pela pesquisadora foi de 1:10 na dimensão horizontal e 1:2 na dimensão vertical, adotando as mesmas dimensões reais que Sevegnani (1997). Segundo a autora, instalações com orientação norte-sul quando sombreadas e ventiladas artificialmente, apresentam o mesmo desempenho térmico que as instalações com orientação leste-oeste ventiladas artificialmente, nas estação de verão e primavera.

3.1.4 Variáveis térmicas

Conforme discorrido anteriormente, o ambiente térmico de exposição das aves de corte é composto pela temperatura do ar, velocidade do vento, umidade do ar, temperatura radiante e temperaturas superficiais, as quais interferem diretamente no desempenho animal.

Nesse item serão apresentadas informações da influência da temperatura ambiente, velocidade do vento e umidade relativa no desempenho de frangos de corte.

3.1.4.1 Temperatura do ar

Na escala evolutiva, as aves são consideradas animais endotérmicos, ou seja, são capazes de manterem sua temperatura corporal estável, mesmo com a variação da temperatura ambiente. Esses animais procuram manter a temperatura interna constante, para garantir a sobrevivência das células individuais, uma vez que o sucesso no desempenho dos frangos depende das inter-relações entre os órgãos das aves, ou seja, para formação dos tecidos comestíveis é necessário que haja equilíbrio interno para o desenvolvimento celular (FURLAN; MACARI, 2002).

Porém, quando ocorre um desequilíbrio do meio interno, devido, por exemplo, a uma variação da temperatura ambiente, o organismo da ave utiliza recursos fisiológicos do sistema homeostático para perder ou produzir calor, dependendo das condições do ambiente. Embora esses mecanismos fisiológicos representem uma característica na escala evolutiva das aves, eles acarretam em um custo, que consequentemente refletirá no processo produtivo (FURLAN; MACARI, 2002).

Assim, quando a temperatura ambiente não é adequada para essa termorregulação, o sistema homeostático desvia a energia dos nutrientes (ração) para produção ou dissipação de calor, afetando significativamente o crescimento desses animais. No entanto, quando a temperatura ambiente está na faixa confortável, não ocorre desperdício de energia, seja para refrigeração ou aquecimento das aves, refletindo assim, na produtividade máxima desses animais (TINÔCO, 2001).

Esse comportamento está descrito no trabalho de Longo et al. (2006), em que os autores relatam a influencia da temperatura ambiente (13, 23 e 32°C) na exigência de energia metabólica de manutenção (EMm) para as aves. Foi constatado efeito quadrático da temperatura sobre a exigência de manutenção, sendo diagnosticado decréscimo até 25,4°C e posteriormente

um aumento (Figura 5). Esse mesmo comportamento também foi registrado no trabalho de Rabello et al. (2004) os quais demonstraram que a exigência em EMm é maior quando as aves estão estressadas pelo frio ou calor, estando atrelado ao gasto de energia para manutenção da homeostase corporal.

Figura 5 – Exigência de manutenção para frangos de corte em função da temperatura ambiente

Fonte: LONGO, F. A. et al. Exigência energéticas para manutenção e para o crescimento de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.1, p. 536-539, 2006.

Assim, sabendo-se da influência da temperatura ambiente sobre a EMm das aves, o trabalho de Oliveira et al. (2006) narra o efeito dessa variável (16, 20, 25 e 32°C) no desempenho e nas características das carcaças dos frangos de corte. Nessa pesquisa, os autores constataram que os maiores ganhos de peso ocorreram na temperatura estimada de 24,4°C, enquanto que a 32°C ocorrem os menores valores desse índice zootécnico, sendo registrados 21,3% menor quando comparado com as aves que ficaram expostas ao ambiente de 25°C.

Mello (2012) em seu estudo destaca a influência negativa das ondas de calor na avicultura de corte. Nessa pesquisa, a autora simulou em câmaras climatizadas três ondas de calor (32°C com duração de 72 horas), com início aos 21, 35 e 42 dias idade. A pesquisadora constatou reduções significativas para o peso vivo, ganho de peso e consumo de ração das aves quando submetidas à onda de calor. Em síntese, a autora alerta que as ondas de calor afetam negativamente o desempenho das aves.

3.1.4.2 Velocidade do vento

A ventilação é um dos fatores preponderantes para o sucesso do empreendimento avícola, pois ela permite controle da pureza do ar, provendo o aviário de oxigênio, eliminando amônia, CO₂ e outros gases nocivos, excesso de umidade e odores (ventilação higiênica), possibilitando também dentro de certos limites, controlar a temperatura e a umidade do ar nos ambientes habitados (ventilação térmica), de tal forma que o ar expelido, quente e úmido, seja substituído e assim aumente a perda calorífica por convecção (TINÔCO, 1998).

A renovação de ar nos aviários é realizada pela ventilação natural ou artificial. Na ventilação natural coexiste a ventilação dinâmica (movimentação do ar devido a diferenças de pressão) e térmica (movimentação do ar em razão das diferenças de temperatura entre dois meios considerados). Quanto à ventilação artificial, essa é dividida em pressão negativa e positiva, sendo que na negativa o ar é forçado de dentro para fora, enquanto que no positivo o ar é forçado de fora para dentro (ABREU; VALÉRIA ABREU, 2000; BAÊTA; SOUZA, 2010).

Em regiões onde as instalações avícolas são classificadas como aviários abertos, quando o calor é intenso e existe pouco vento (ventilação natural), há necessidade da inserção de ventiladores (ventilação artificial), os quais poderão realizar fluxo transversal ou longitudinal. Na ventilação transversal, os ventiladores são posicionados transversalmente em uma das laterais à meia altura do pé-direito do aviário no sentido dos ventos dominantes. Já no fluxo longitudinal, os ventiladores são posicionados em duas linhas ao longo do comprimento do aviário, cujo fluxo de ar entra por uma extremidade do aviário e sai pela outra. Para esse sistema é recomendado o fechamento das cortinas, passando a caracterizar o sistema túnel de vento (ABREU; VALÉRIA ABREU, 2000).

Lacy e Czarick (1992) avaliaram os dados de desempenho de frangos de corte e os custos operacionais de aviários com ventilação em túnel e ventilação cruzada. Para as temperaturas foi diagnosticado redução de 1 a 2°C no modelo com ventilação cruzada e 4 a 7°C no modelo em túnel. Aos 55 dias de idade, os autores constataram peso corporal de 2,43 kg na instalação com ventilação em túnel e 2,33 kg no aviário com ventilação cruzada. Com relação ao custo de eletricidade, a aferida na instalação com ventilação em túnel foi aproximadamente duas vezes superior em relação à de ventilação cruzada. Entretanto, segundo os pesquisadores, o melhor desempenho dos frangos no aviário com ventilação em túnel compensou os custos de operações adicionais.

Com o propósito de investigar a influência da velocidade do vento em ambiente com alta temperatura, Yahav et al. (2001) avaliaram o desempenho de aves de corte (alojadas em gaiolas – 1 ave por gaiola) em ambiente de sistema túnel com 35°C, 60% de umidade relativa (UR) e quatro diferentes velocidades de vento (0,5; 1,5; 2,0; e 3,0 m/s). Os autores diagnosticaram melhores índices zootécnicos para as aves criadas em ambientes com velocidade de vento variando de 1,5 a 2,0 m/s (Tabela 2). Embora o ambiente dotado com velocidade de 3,0 m/s tenha apresentado queda no ganho de peso, segundo os pesquisadores, essa velocidade do vento tem efeito positivo na criação de altas densidades.

Tabela 2 – Efeito da velocidade do ar no desempenho de aves de corte com idade entre 5 a 7 semanas em ambiente com 35°C e 60% de UR

Variável	Velocidade do Vento (m/s)			
	0,5	1,5	2,0	3,0
Ganho de Peso (g)	926 ^b	1153 ^a	1186 ^a	1022 ^b
Consumo de Ração (g)	2255 ^c	2470 ^{ab}	2584 ^a	2398 ^{bc}
Eficiência Alimentar (g/g)	0,411 ^c	0,467 ^a	0,459 ^{ab}	0,426 ^{bc}

Letras diferentes na linha diferem significativamente pelo teste de Duncan (p<0,05)

Fonte: YAHAV, S. et al. Air velocity alters broiler performance under harsh environmental conditions. **Poultry Science**, v. 80, p. 724-726, 2001.

A relevância da velocidade do vento no balanço de calor foi atestada no trabalho de Yahav et al. (2004). Nessa pesquisa, uma das avaliações efetuadas pelos autores foi à mensuração da perda de calor sensível por convecção em aves expostas em ambientes com 35°C, 60% de umidade relativa e quatro diferentes velocidades de vento (0,8; 1,5; 2,0; e 3,0 m/s). Os pesquisadores registraram significativamente aumento na perda de calor por convecção entre os ambientes estudados, sendo o maior valor diagnosticado para 3,0 m/s (Figura 6). Apesar das aves terem apresentando maior perda de calor no ambiente com 3,0 m/s, segundo os autores, os animais desse tratamento exibiram desempenho zootécnico inferior, quando comparado ao ambiente com 2,0 m/s.

Figura 6 – Perda de calor por convecção em aves de corte

Fonte: YAHAV, S. et al. Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh environmental conditions. **Poultry Science**, v. 83, p. 253-258, 2004.

3.1.4.3 Umidade relativa

Na avicultura, a concentração de vapor de água no interior dos aviários é um ponto que demanda atenção e cautela por parte dos produtores, pois essa variável em associação com a temperatura do ar interfere significativamente na troca térmica latente entre as aves e o ambiente.

O efeito da umidade relativa (UR) em altas temperaturas, sobre o desempenho de frangos de corte, foi tema de estudo de Oliveira et al. (2006). Nessa pesquisa, os autores avaliaram o desempenho e o rendimento de cortes nobres de aves de corte em três diferentes ambientes: confortável (25°C e 63% UR), calor seco (32°C e 40% UR) e calor úmido (32°C e 75% UR). Os pesquisadores constataram efeito negativo da umidade relativa (calor seco e úmido) nos cortes nobres dos frangos quando comparados ao ambiente confortável (Tabela 3). Ao comparar os ambientes estressantes (calor seco e úmido), os autores registraram menor peso para coxa e peito no ambiente úmido.

Segundo os pesquisadores, esse resultado entre os ambientes desconfortáveis ocorreu devido a UR% ter afetado negativamente o processo evaporativo de perda de calor, uma vez que em altas temperaturas esse é o principal mecanismo utilizado pela ave para manutenção de sua homeotermia, pois esse processo depende do estado psicrométrico do ar. Sendo assim, as aves consomem menores quantidades de ração e consequentemente menor o rendimento de carne.

Tabela 3 – Peso absoluto de cortes nobres de frangos de corte aos 49 dias de idade

Cortes nobres / Ambientes	Conforto	Calor seco	Calor úmido
Carcaça	2283 a	1914 b	1885 b
Coxa	285 a	261 b	254 c
Sobrecoxa	286 a	268 b	261 b
Peito	624 a	511 b	493 c

Letras diferentes na linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Fonte: OLIVEIRA, R. F. M. et al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade.

Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 35, n.3, 2006. p.797– 803.

Lin et al. (2005) relatam que o aumento da UR% em ambientes com altas temperaturas (35°C) eleva a temperatura retal dos frangos de corte e justificam que esse comportamento decorre devido a UR% suprimir a perda de calor sensível e latente das aves, gerando acréscimo de energia, o qual é constatado pelas altas temperaturas retais. Assim, esse trabalho justifica o menor comportamento das aves descrito na pesquisa de Oliveira et al. (2006).

3.1.4.4 Radiação solar

A energia solar atinge a superfície terrestre através da emissão de ondas eletromagnéticas. O espectro dessas ondas é constituído por um feixe de raios diferenciados pela magnitude de seus comprimentos de onda e pela frequência com que essas ondas se manifestam (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2011).

Quando a radiação solar atinge um corpo que compõem a troposfera terrestre (camada em que os fenômenos climáticos se produzem), ocorre o acréscimo na energia interna e consequentemente sua temperatura aumenta. Segundo a lei de Stefan-Boltzmann todo corpo com uma temperatura superior a -273°C (ou 0 K) possui energia, portanto, emite radiação. Dessa forma, o poder emissivo de um corpo dependerá de sua temperatura (BAÊTA e SOUZA, 2010; MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2011).

3.1.5 Índice de conforto térmico

O ambiente térmico que circunda as aves de corte é um dos fatores que exercem influência significativa na expressão gênica desses animais, podendo resultar no sucesso desse

empreendimento quando ajustado nos limiares de conforto, ou no fracasso, caso as variáveis térmicas estejam alinhadas desfavoravelmente para essa espécie animal.

Assim, na avicultura de corte, o ambiente térmico não é quantificado somente por uma única variável térmica (temperatura, umidade, radiação e vento), mas sim pelo efeito combinado delas em interação com características do animal (penas, tamanho, sexo, idade), uma vez que esses fatores governam o intercâmbio de energia térmica entre o animal e o ambiente.

Dessa forma, a determinação do ambiente térmico no interior dos galpões avícolas é efetuada com base na aplicação dos índices de conforto térmico, que segundo Frota e Schiffer (2001) consistem em reunir o efeito conjunto das variáveis térmicas em apenas um único parâmetro, e assim predizer se o ambiente térmico é confortável ou desconfortável.

3.1.5.1 Entalpia

Segundo Barbosa Filho (2008), a Entalpia (H) é um índice de conforto térmico (índice físico) que quantifica o total de energia (calor) em 1 kg de ar seco, sendo dependente dos valores de temperatura do ar e da umidade relativa. Para determinar esse índice, esse pesquisador utilizou em seu trabalho a fórmula desenvolvida por Villa Nova (comunicação pessoal), a qual está descrita na eq. (1).

$$H = 6,7 + 0,243 * Tbs + \{UR/100 * 10^{7,5 * Tbs / 237,3 + Tbs}\} \quad (1)$$

H = Entalpia (Kcal/Kg ar seco);

Tbs = Temperatura de bulbo seco (°C);

UR = Umidade relativa do ar (%)

No entanto, Rodrigues et al. (2011) relataram em seu estudo, que o índice de entalpia calculado por Barbosa Filho (2007) acaba superestimando e subestimando os valores reais de entalpia para um determinado ambiente. Dessa forma, os autores propuseram uma extensão da fórmula de Albright (1990) para determinar com maior precisão esse índice de conforto térmico, através da eq.(2).

$$H = 1,006 * t + UR/P_B * 10^{(7,5 * t / 237,3 + t)} * (71,28 + 0,052 * t) \quad (2)$$

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

t = Temperatura do ar (°C);
UR = Umidade relativa do ar (%);
P_B = Pressão barométrica local (mmHg).

Assim, com base na eq. (2) Queiroz, Barbosa Filho e Vieira (2012) classificaram o ambiente térmico confortável para frangos de corte da seguinte forma: 1ªSemana, ambiente variando de 77 a 88,3 kJ/kg de ar seco; 2ªSemana, ambiente variando de 66,9 a 77 kJ/kg de ar seco; 3ªSemana, ambiente variando de 57,7 a 66,9 kJ/kg de ar seco; 4ªSemana, ambiente variando de 49,5 a 57,7 kJ/kg de ar seco; 5ªSemana, ambiente variando de 39,6 a 54,9 kJ/kg de ar seco; 6ªSemana, ambiente variando de 37,4 a 52,1 kJ/kg de ar seco.

3.1.5.2 Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte (IAPfc)

O Índice Térmico Ambiental de Produtividade para Frangos de Corte (IAPfc) é um índice de conforto (índice estatístico) desenvolvido por Medeiros et al. (2005), o qual engloba o efeito combinado da temperatura, umidade e velocidade do ar baseado no desempenho animal (ganho de peso e consumo de ração) e em parâmetros fisiológicos (temperatura retal e frequência respiratória).

Nessa pesquisa, os autores alojaram em câmaras climáticas, animais machos da linhagem Aviam Farms durante o período de 22 aos 42 de idade das aves. A variável temperatura (16, 20, 26, 32 e 36°C), umidade relativa (20, 34, 55, 76 e 90%) e velocidade do ar (1,5, 2,4 e 3,0 m s⁻¹) das câmaras climáticas foram combinadas atingindo um total de 15 diferentes condições ambientais.

Com base em correlações matemáticas entre as variáveis térmicas (temperatura, umidade e velocidade do ar) com o desempenho dos animais, os pesquisadores diagnosticaram a eq. (3) para o IAPfc.

$$\begin{aligned} \text{IAPfc} = & 45,6026 - 2,31072 \text{ t} - 0,368331 \text{ u} + 9,70922 \text{ v} + 0,0549243 \text{ t}^2 + 0,0012183 \text{ u}^2 \\ & + 0,66329 \text{ v}^2 + 0,012897 \text{ tu} - 0,300928 \text{ tv} - 0,0595245 \text{ uv} \end{aligned} \quad (3)$$

IAPfc = Índice Térmico Ambiental de Produtividade para Frangos de Corte;
t = temperatura;
u = umidade relativa;
v = velocidade do ar

Com os valores de IAPfc, os autores classificaram o ambiente térmico em: confortável, quando o ambiente apresentar valores de 21 a 24; moderadamente confortável, quando exibir valores de 19 a 20 e 25 a 27; desconfortável, quando o ambiente apresentar valores abaixo de 19 e de 28 a 30; extremamente desconfortável, quando constatar valores de 31 a 34; perigoso, quando o IAPfc estiver igual ou acima de 35.

3.2 Painéis particulados aglomerados

3.2.1 Painéis de madeira

As árvores retiradas das florestas, quando processadas pelas indústrias, sofrem operações que reduzem suas dimensões em diversos elementos de madeira (grã longa, grã curta, elementos fibrosos e elementos químicos), os quais podem ser utilizados para produzir novos painéis de madeira (IWAKIRI; KEINERT; ALBUQUERQUE, 2005). Esses painéis surgiram para atender uma necessidade gerada pela escassez e pelo encarecimento da madeira maciça e podem ser classificados em dois grupos, os compostos laminados e compostos particulados (Figura 7).

Figura 7 – Classificação dos painéis de madeira

Fonte: IWAKIRI, S.; KEINERT, S. J.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Painéis de madeira aglomerada. In: **Painéis de madeira reconstituída**. 1. ed. Curitiba: FUPEF, 2005. Cap. 4.

Os painéis de partículas aglomeradas podem ser fabricados com qualquer material lignocelulósico, já que a composição química desses materiais é semelhante à da madeira, mais precisamente com a das madeiras duras que contêm menor teor de lignina e maior teor de hemicelulose do tipo pentosanas (Roweel et al., 2000).

De acordo com Bektas et al. (2005) mais de 30 plantas foram estudadas para a fabricação de painéis particulados aglomerados. Na literatura há diversos estudos que abordam o uso de resíduos agroindustriais para fabricação de painéis de partículas, tais como: casca de avelã (ÇÖPÜR; GULER; TASCIOGLU, 2007), casca de amendoim (GULER; ÇÖPÜR; TASCIOGLU, 2008) caule de berinjela (GUNTEKIN; KARAKUS, 2008) casca de amêndoa (PIRAYESH; KHAZAEIAN, 2012), casca de nozes (PIRAYESH; KHAZAEIAN; TABARSA, 2012) entre outros.

A utilização dos resíduos agroindustriais na fabricação dos painéis de partículas promove benefícios ambientais socioeconômicos. No aspecto ambiental, a utilização desses resíduos proporciona à redução na extração de madeira nas florestas naturais e evita a queima dos resíduos agrícolas no campo por parte dos produtores. Na esfera socioeconômica, representa uma segunda fonte de renda para o campo (ÇÖPÜR; GULER; TASCIOGLU, 2007).

Porém, antes da aplicação desses painéis é necessário efetuar ensaios a fim de diagnosticar suas propriedades, uma vez que a proposta de aplicação depende do desempenho desses materiais. De acordo com Callister (2008) as propriedades dos materiais são organizadas em seis categorias, conforme ilustra a Figura 8.

Figura 8 – Propriedades dos materiais sólidos

Fonte: CALLISTER JR, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. 7 Edição, 703p. 2008.

Assim, a utilização do método e processo empregado para confecção de painéis particulados aglomerados, bem como o conhecimento de suas propriedades, torna-se uma opção para desenvolver materiais alternativos à base de resíduos, o que favorece agregação de valor a esses resíduos e ao mesmo tempo promove a conservação ambiental.

3.2.2 Painéis de madeira aglomerada

Os painéis aglomerados de madeira são materiais compostos de partículas de madeira, aglutinadas com resina sintética termofixa, e mecanicamente prensadas com aplicação de pressão e calor (NBR 14810, 2013).

Segundo NPA (1993, apud NEMLI et al., 2009, p. 1129-1131) esses painéis são utilizados na fabricação de produtos de madeira de valor agregado, tais como móveis, armários, degraus de escada, construção de casas, painéis, prateleiras, tampas de mesa, portas de correr, mesa de bilhar, estabelecimento de ensino e outras aplicações.³

3.2.2.1 Histórico

Os estudos denotam que os painéis de madeira aglomerada floresceram no início da década de 40 na Alemanha, a fim de viabilizar a utilização de resíduo de madeira, mediante a dificuldade para obtenção de madeiras de boa qualidade para produção de painéis compensados, devido ao isolamento da Alemanha durante a segunda guerra mundial (IWAKIRI; KEINERT; ALBUQUERQUE, 2005).

Apesar dessa alternativa, segundo os autores acima, a produção desses painéis ficou estagnada, devido à baixa oferta de matéria-prima para elaboração da resina, uma vez que a prioridade de uso do petróleo era para finalidade militar. Com o término da guerra, em 1946, o processo de desenvolvimento dos painéis aglomerados foi retomado nos Estados Unidos, havendo uma grande expansão nas instalações industriais e nos avanços tecnológicos, durante a década de 60.

No Brasil, as produções desses painéis tiveram início nos anos 60 com a utilização de prensas cíclicas, sendo questionados quanto a sua qualidade, pois se alegava que esses tipos

³ NPA – National Particleboard Association. From start to finish particleboard. 18928 Premiere Court, Gaithersburg, MD 20879, 1993.

de painéis exibiam alta absorção de água e inchamento em espessura (MELO; MENEZZI 2010).

Porém, a partir dos anos 90, as empresas brasileiras que fabricavam painéis aglomerados começaram a investir em tecnologias, resultando na substituição das prensas cíclicas pelas prensas contínuas. Essa mudança tecnológica foi essencial, pois ela proporcionou vantagens aos painéis aglomerados, tais como: aprimoramento nas características de resistência (arrancamento de parafusos, menor absorção de umidade e empenamento), maior produção em escala e ganho de produtividade e qualidade do painel (MATTOS; GONÇALVES; CHAGAS, 2008).

O aperfeiçoamento adquirido no processo de fabricação dos aglomerados, pelas empresas brasileiras, em anos posteriores, resultou no aprimoramento da qualidade dos painéis, culminando para expansão do consumo desses painéis no mercado nacional. Além disso, outro fator preponderante para aumento da demanda dos aglomerados está atrelado às estratégias de *marketing* após a introdução das melhorias (MATTOS; GONÇALVES; CHAGAS, 2008).

3.2.2.2 Classificação dos painéis aglomerados de madeira

Segundo a Amercian National Standard (ANSI A208.1-1999), a densidade dos painéis aglomerados de madeira são classificados em:

- Alta densidade: acima de $0,80 \text{ g.cm}^{-3}$
- Média densidade: entre $0,64 - 0,80 \text{ g.cm}^{-3}$
- Baixa densidade: abaixo de $0,64 \text{ g.cm}^{-3}$

Além da densidade, segundo Iwakiri, Keinert e Albuquerque (2005) os painéis de madeira aglomerada podem ser classificados com base na distribuição das partículas e no tipo de partícula (Tabela 4).

Tabela 4 – Classificação dos painéis de madeira aglomerada com base no tipo de partícula e distribuição

Tipo de partícula	Distribuição das partículas
Aglomerado convencional - partículas sliver	Painéis homogêneos
Partículas flake - flakeboard	Painéis de múltiplas camadas
Partículas wafer - waferboard	Painéis de camadas graduadas
Partículas strand - strandboard	Painéis de partículas orientadas

Fonte: IWAKIRI, S.; KEINERT, S. J.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Painéis de madeira aglomerada. In: **Painéis de madeira reconstituída**. 1. ed. Curitiba: FUPEF, 2005. Cap. 4.

3.2.2.3 Processo de produção

De maneira geral, o processo empregado para fabricação dos painéis de madeira aglomerada, consiste nas seguintes fases: obtenção da matéria-prima para produção das partículas, secagem, adição do adesivo, formação do colchão, pré-prensagem e prensagem a quente (IWAKIRI; KEINERT; ALBUQUERQUE, 2005).

De acordo com os autores acima, a madeira utilizada para fabricação desses painéis, podem ser adquiridos de diversas fontes, tais como: toras de florestas plantadas, resíduos de indústrias madeireiras, como costaneiras, maravalhas entre outros.

Após a obtenção da matéria-prima, esses materiais são moídos para geração das partículas com geometria condizente ao painel em fabricação. Posteriormente, essas partículas são secadas até atingir um determinado teor de umidade (MELO; MENEZZI, 2010). Segundo Iwakiri, Keinert e Albuquerque (2005) o controle dessa variável é relevante, pois partículas que contém alto teor de umidade pode levar a formação de bolhas de vapor durante a prensagem dos painéis.

Posteriormente, é definida a densidade nominal do painel que será sintetizado, através da relação entre a massa (partículas com 3% de umidade) e volume do colchão a ser moldado. Determinado a massa necessária para a fabricação do painel, é aplicado o adesivo e na sequência é efetuado a pré-prensagem em uma caixa molde (MELO; MENEZZI, 2010).

O colchão pré-prensado é transladado para uma prensa termo hidráulica, sendo que esse é prensado sobre o regime de uma determinada pressão, tempo e temperatura. De acordo com Iwakiri, Keinert e Albuquerque (2005) essas variáveis possuem a seguinte finalidade:

- *Pressão*: densificação do material até atingir a espessura final e transferência de adesivo nas partículas;
- *Temperatura*: polimerização da resina, plasticização das partículas para reduzir a resistência à compressão e facilitar a espessura do painel e transferência de calor das camadas da superfície até as mais internas, mediante a vaporização da umidade das partículas;
- *Tempo de prensagem*: garantir que o centro do painel atinja a temperatura para a cura da resina.

3.2.2.4 Adesivo

Os adesivos são materiais utilizados na fabricação de painéis aglomerado, tendo como finalidade a conexão entre os fragmentos de madeira. Nesses painéis, os adesivos formam a matriz ou a face descontínua, a qual transfere de partícula para partícula a tensão externa submetida (NDAZI; TESHHA; BISANDA, 2006).

Para que ocorra o processo de adesão é importante que a superfície da partícula seja quimicamente compatível com a matriz (NDAZI; TESHHA; BISANDA, 2006). Segundo Ayrlmis et al. (2009), os grupos hidroxilas da celulose e das hemiceluloses são os responsáveis pela adesão com os adesivos polares. A quantidade dessas ligações é dependente da viscosidade, fluidez, pH e a superfície de umectação da resina (NDAZI; TESHHA; BISANDA, 2006).

A ureia-formaldeído (UF), fenol-formaldeído, melamina-formaldeído e difenilmetano diisocianato (MDI), são adesivos sintéticos termoendurecedores, empregados para fabricação dos painéis aglomerados de madeira. No entanto, esses adesivos têm desencadeado problemas ambientais e de saúde para os trabalhadores. No caso do MDI, o isocianato está relacionado com problemas de asma brônquica e morte de pessoas que trabalham na indústria de plástico. Já a UF está associada à emissão de formaldeído tóxico durante o tempo de vida do material compósito (NDAZI; TESHHA; BISANDA, 2006).

Nesse sentido, pesquisas foram desenvolvidas, a fim de diagnosticar um adesivo natural que não agrida o meio ambiente. Dentre esses adesivos, a literatura relata a utilização da resina poliuretana derivada do óleo de mamona, a qual tem como vantagem em ser biodegradável, não liberar formaldeído para o meio ambiente e ser atóxica. Esse adesivo é

obtido mediante a extração do óleo da planta *Ricinus communis* que possui características químicas diferentes em relação à maioria dos óleos vegetais, pois além da presença do triglicerídeo do ácido ricinoléico, que é um ácido graxo hidroxilado pouco frequente nos óleos vegetais, presente numa faixa de 84% a 91% da sua composição (Tabela 5) (CANGEMI; MARLI DOS SANTOS; CLARO NETO, 2010).

Tabela 5 – Ácidos graxos no óleo de mamona

Ácido graxo	Porcentagem %
Ácido Ricinoléico	84 - 91
Ácido Linoléico	2,9 - 6,5
Ácido Oléico	3,1 - 5,9
Ácido Estéarico	1,4 - 2,1
Ácido Palmítico	0,9 - 1,5

Fonte: CANGEMI, J. M.; MARLI DOS SANTOS, A.; CLARO NETO, S. A revolução verde da mamona. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, v.32, n.1, p. 3-8, 2010.

O ácido ricinoléico apresenta uma estrutura química com três grupos funcionais altamente reativos, fazendo com que o óleo de mamona possa ser submetido a diversos processos químicos, nos quais pode ser obtida uma gama de produtos (CANGEMI; MARLI DOS SANTOS; CLARO NETO, 2010). Através da transesterificação dos triglicérides ou por esterificação do ácido ricinoléico (óleo de mamona) com glicóis, é produzido o poliol, o qual reage com o isocianato para formar o poliuretano (MARQUES; MARTINS, 2009).

Esse adesivo pode ser encontrado na forma monocomponente ou bi-componente, sendo que em ambos os casos os adesivos são curados por algum tipo de reação quando aplicadas ao substrato. As monocomponentes caracterizam-se por curarem quando entram em contato com o meio ambiente (ar e umidade), por evaporação do solvente, enquanto que as bi-componentes curam pela ação de um catalisador (COUTINHO; DELPECH, 1999).

3.2.2.5 Painéis isolantes à base de resíduos agroindustriais

Os materiais de isolamento térmico são aqueles que promovem a redução na taxa de fluxo de calor por condução, convecção e radiação, devido a sua alta resistência térmica (AL-HOMOUD, 2005).

De acordo com Papadopoulos (2005) esses materiais podem ser classificados segundo a sua estrutura química e física (Figura 9). Segundo o autor, o consumo desses materiais no

mercado Europeu correspondem em 60% de materiais isolantes inorgânicos (Fibroso), 27% de materiais orgânicos (Espumas) e o restante somam juntos em 13%.

Figura 9 – Classificação dos materiais isolantes

Fonte: PAPADOPOULOS, A. M. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. **Energy and Buildings**, v. 37, n.1, p. 77-86, 2005.

As propriedades desses materiais são divididas em três diferentes grupos. O primeiro denota nas tradicionais propriedades físicas, tais como: densidade, resistência mecânica, isolamento térmico; O segundo grupo corresponde ao impacto ambiental dos materiais isolantes, que engloba o conhecimento sobre a energia primária e a emissão de gases durante o processo de produção, o uso de aditivos contra impactos biológicos e a possibilidade de reciclagem; O terceiro grupo refere-se às propriedades com a saúde pública durante a produção desses materiais, como por exemplo, a toxicidade do ser humano no caso a eventuais incêndios (PAPADOPOULOS, 2005).

Com foco no terceiro grupo das propriedades dos materiais isolantes, Liang e Ho (2007) estudaram as características tóxicas dos seguintes materiais isolantes: lã de vidro, lã de rocha, espuma de polietileno e espuma de poliuretano. Esses materiais foram selecionados, pelo fato, do consumo desses materiais em Taiwan serem similares ao mercado Europeu. Para todos os materiais avaliados os autores constataram índice de toxicidade superior a 1, indicando que traria a óbito um ser humano em 30 minutos após ingerir gases oriundos da queima desses materiais. Entre os materiais avaliados, os pesquisadores diagnosticaram o polietileno com maior toxicidade. Além disso, os valores encontrados pelos autores para o isolante polietileno

e poliuretano foram maiores do que 10, significando que esses materiais são de alto risco de incêndio (Figura 10).

Figura 10 – Índice de Toxicidade de diferentes materiais

Fonte: LIANG, H.H. e HO, M.C. Toxicity characteristics of commercially manufactured insulation materials for building applications in Taiwan. **Construction and Building Materials**, v.21, n.1, p.1254-1261, 2007.

Nesse âmbito, diversas pesquisas sobre a temática painéis de partículas aglomerados de baixa densidade à base de resíduos foram desenvolvidos com objetivo de obter materiais alternativos mais seguros para o ser humano e meio ambiente, proporcionando ao mesmo tempo, agregação de valor aos resíduos. A seguir são apresentadas informações de trabalhos que avaliaram o desempenho de materiais isolantes fabricados com resíduos agroindustriais.

O Kenaf (*Hibiscus cannabinus*) é uma planta do sul da Ásia sendo empregada para fabricação de papel. Além da produção de papel, Xu et al. (2004) estudaram a viabilidade de produzir painéis de baixa densidade (isolante térmico) utilizando essa planta como matéria-prima. Para isso, os autores avaliaram as propriedades físico-mecânicas e térmicas.

Para as propriedades mecânicas (MOR e MOE) os pesquisadores constataram aumento, conforme a elevação da densidade dos painéis. Com relação às propriedades físicas (inchamento e absorção), os autores diagnosticaram menor absorção e maior inchamento para painéis com maior densidade nominal.

Quanto a condutividade térmica, Xu et al. (2004) diagnosticaram aumento dessa propriedade, conforme o aumento da densidade dos painéis. Os autores comentam que a menor condutividade térmica ocorreu nos painéis de baixa densidade, em razão das placas

conterem maior número de espaços vazios preenchidos com ar, que é um meio de baixa condução de calor.

O abacaxi (*Ananas comosus*) é uma planta cultivada na Tailândia que após a sua colheita os resíduos (folhas) são queimados causando problemas ambientais e erosão no solo. Na busca de alternativas, Tangjuank (2011) avaliou a viabilidade em desenvolver painéis de isolamento térmico à base de folhas de abacaxi para três diferentes densidades (0,178, 0,210 e 0,232 g.cm⁻³).

Para a variável absorção e inchamento o autor constatou maiores valores para os painéis com maior densidade. Além disso, o pesquisador observou maior condutividade térmica nos painéis com densidade de 0,178 g.cm⁻³, pois segundo o autor isso esteve atrelado a maior quantidade de umidade nesses painéis.

O papiro (*Typha angustifolia*) é uma planta fibrosa encontrada em abundância na Tailândia. A fim de desenvolver um material isolante ecologicamente correto e sem risco aos humanos, Tangjuank e Kumfu (2011) estudaram para três diferentes densidades (0,232, 0,258 e 0,266 g.cm⁻³) o desempenho físico (absorção e inchamento) e térmico (condutividade térmica) de painéis a base dessa planta.

Os autores constataram maior absorção de água para os painéis com menor densidade, pelo fato, de apresentarem no interior maior número de espaços vazios. Já para o inchamento, maiores valores foram diagnosticados para os painéis com maior densidade, que segundo os autores é devido a maior quantidade de material nesses painéis. Para condutividade térmica, os pesquisadores identificaram aumento dessa propriedade com a elevação da densidade.

A produção de cana-de-açúcar (*Saccharum L.*) tem o bagaço como subproduto, enquanto que a cadeia produtiva do coco (*Cocos nucifera*) tem a casca e a fibra como resíduo. Como proposta de traçar alternativas para esses resíduos e reduzir o custo dos materiais isolantes empregados na Tailândia, Panyakaew e Fotios (2011) avaliaram as propriedades físico-mecânicas e térmicas de placas isolantes à base de casca de coco e bagaço de cana para três diferentes densidades (0,250, 0,350 e 0,450 g.cm⁻³).

Para as propriedades mecânicas, os autores diagnosticaram aumento no MOR e MOE com a elevação da densidade. Comparando o desempenho mecânico dos painéis, os autores constataram maiores valores dessas propriedades para os painéis de bagaço de cana. Os pesquisadores atribuem como causa desse fenômeno à diferença das propriedades físicas e químicas da fibra de coco, pois o MOR não depende somente da força de ligação entre as fibras, mas também da força individual da fibra e a sua geometria. Para a condutividade

térmica os autores encontraram uma relação positiva entre a condutividade térmica e a densidade.

Com base nos valores relatados nessas pesquisas, foi elaborado um gráfico (Figura 11) comparando a condutividade térmica entre os materiais isolantes comerciais (Lã de Vidro, Espuma de Polietileno, Poliuretano e Lã de Rocha) com os painéis de baixa densidade à base de resíduos agroindustriais. Observa-se que todos os materiais podem ser classificados como isolantes, pois segundo Whang (1988) materiais com condutividade térmica menor que 0,25 W/mK (linha tracejada na Figura 11) são isolantes térmicos.

Figura 11 – Comparação entre a condutividade térmica de isolantes tradicionais com painéis de baixa densidade à base de resíduos agroindustriais

Fonte: Própria autoria

3.3 Propriedades térmicas dos materiais

Segundo Callister (2008) por propriedade térmica denota-se o desempenho de um determinado material mediante a inserção de calor. Quando o sólido absorve energia na forma de calor, sua temperatura sobe e suas dimensões aumentam. Essa energia pode ser transportada para regiões mais frias da amostra se existir gradientes de temperatura. De acordo com Tinôco (2001), a condutividade térmica, resistência térmica, capacidade de amortecimento e atraso térmico são propriedades térmicas relevantes para os materiais utilizados como cobertura ou forro em uma instalação avícola. Além dessas propriedades, é também relevante conhecer o fator solar e a emissividade dos materiais.

3.3.1 Condutividade térmica

Por condutividade térmica compreende-se a transmissão do calor (energia térmica) de uma região de alta temperatura para uma de baixa temperatura em um corpo considerado homogêneo, num regime estacionário, por unidade de espessura, área e tempo (BAÊTA; SOUZA, 2010).

A energia térmica ou calor é transferido nos materiais sólidos, por meio da vibração da rede (fônons) e pelos elétrons livres. Assim, a condutividade térmica total de um determinado material é a soma das duas contribuições supracitadas (CALLISTER, 2008).

Quando os isolantes térmicos são aplicados nos edifícios, dependendo das condições de umidade e temperatura, a condutividade térmica oscila. Abdou e Budaiwi (2013) demonstraram que a condutividade térmica dos materiais isolantes fibrosos (fibra de vidro e lã de rocha) aumenta com o conteúdo de umidade em seu interior, enquanto que Budaiwi, Abdou e Al-homoud (2002) relataram que essa propriedade térmica aumenta nos isolantes térmicos (fibra de vidro, lã de rocha e polietileno) quando a temperatura se eleva.

3.3.2 Resistência térmica

De acordo com Costa (1982, apud TINÔCO, 2001, p. 1-26) a resistência térmica consiste na resistência que um determinado material oferece ao fluxo de calor.⁴ Essa propriedade é função da condutividade térmica, espessura e densidade (AL-HOMOUD, 2005).

Segundo Rivero (1986, apud TINÔCO, 2001, p. 1-26) essa propriedade térmica é mensurada mediante a aplicação da equação (4).⁵

$$R = L / K \quad (4)$$

R = Resistência térmica (m^2K/W)

L = Espessura (m)

K = Condutividade térmica (W/mK)

⁴ Costa, E.C. **Arquitetura ecológica, condicionamento térmico natural**. 5:ed. São Paulo: Edgard Blúcher; 1982. 264p.

⁵ Rivero R. **Condicionamento Térmico Natural: Arquitetura e Clima**. Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores, 1986. 240p.

A importância de melhorar essa propriedade térmica dos materiais foi documentada no trabalho de Papadopoulos (2005), pois segundo o pesquisador, nas décadas passadas, países europeus aumentaram a espessura dos materiais empregados nos telhados, a fim de elevar a resistência térmica com intuito de garantir ambiente confortável no interior do edifício (Figura 12).

Figura 12 – Evolução da espessura dos materiais aplicados como telhados na Europa

Fonte: Eurima (2003, apud PAPADOPOULOS, 2005, p. 77-86).⁶

No caso da avicultura brasileira, a busca por melhoras na resistência térmica dos materiais aplicados como isolantes aos aviários, é um fator relevante para se evitar a transferência de grande quantidade de calor para o ambiente interno durante as estações quentes, uma vez que as aves de corte são suscetíveis ao calor. Em contrapartida, nas épocas frias, isolantes com alta resistência térmica permite reduzir a perda de calor para o ambiente externo e reduzir o custo de aquecimento.

3.3.3 Fator solar de elementos opacos

Uma instalação avícola tem a finalidade de proteger as aves contra o desconforto causado pelas intempéries, como chuva, neve, vento, insolação, variações de temperatura etc. As trocas de calor entre o ambiente externo e interno dessas instalações ocorrem por meio de

⁶ EURIMA – European Insulation Manufactures Association, 2003. Disponível em: <<http://www.eurima.org>>

seus componentes opacos, isto é, paredes, cortinas, portas, piso e cobertura. São denominados opacos todos os materiais que não deixam passar luz (BAÊTA; SOUZA, 2010).

O fator solar é uma das formas para avaliar o desempenho de materiais opacos nas instalações rurais. Essa propriedade informa a taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo, ou seja, expressa a quantidade de energia que atinge o interior da instalação (NBR 135.07-001, 2003).

Cravo et al. (2014) avaliaram por meio de simulação numérica o fator solar de duas instalações avícolas, sendo uma dotada com forro ecológico (casca de amendoim e fibra de coco) e a outra sem forro. Os autores constataram que a instalação com forro ecológico exibiu fator solar de 2,40%, enquanto que a instalação com ausência de forro apresentou fator solar de 5,49%. Segundo os autores, de 100% da radiação solar incidente sobre a cobertura, somente 2,40% passaria para o interior do aviário dotado com forro ecológico.

3.3.4 Emissividade

Emissividade corresponde à relação entre a densidade de radiação de um corpo cinza, pela taxa de radiação emitida por um corpo negro nas mesmas condições de temperatura. Se um material apresenta emissividade de 0,5, isso significa que ele emite metade da radiação emitida por um corpo negro sobre as mesmas condições (BAÊTA; SOUZA, 2010).

3.4 Isolantes reflexivos

Isolantes térmicos são materiais que retardam o fluxo de calor para o interior dos edifícios devido a sua resistência térmica (AL-HOMOUD, 2005). Além desses, os isolantes reflexivos ou barreiras radiantes são outros materiais que reduzem o fluxo de calor para o interior das edificações. Nesse caso, essa classe de material reduz a transferência de calor através da radiação, uma vez que esses são formados por um material reflexivo e de baixa emissividade. Por apresentar alta refletividade aos raios infravermelhos, o alumínio é um dos materiais utilizados na fabricação dos isolantes reflexivos. Para fornecer resistência mecânica a esses materiais, o alumínio é aplicado em associação a outro material, como por exemplo, ao plywood (MICHELS; LAMBERTS; GÜTHS, 2007).

Para os isolantes reflexivos, a emissividade é um conceito relevante. De acordo com Al-Houmoud (2005) os isolantes reflexivos devem apresentar baixa emissividade ($\leq 0,1$) e absorção (bom refletor, $\geq 0,9$) da radiação térmica.

3.5 Setor de celulose e papel

No cenário internacional, o Brasil ocupa a quarta e a nona posição na produção de celulose e papel, respectivamente (Figura 13). Esse setor é relevante para o desenvolvimento econômico do Brasil, pois segundo dados da BRACELPA, as exportações em 2012 do setor de celulose e papel movimentaram US\$ 7.190 milhões, sendo superado apenas pelo complexo soja, sucroalcooleiro e café.

Figura 13 – Produção mundial de celulose e papel em 2012

CELULOSE		PAPEL	
País	mil toneladas	País	mil toneladas
1. EUA	50.351	1. China	102.500
2. China	18.198	2. EUA	74.375
3. Canadá	17.073	3. Japão	26.083
4. Brasil *	13.977	4. Alemanha	22.630
5. Suécia	11.672	5. Suécia	11.417
6. Finlândia	10.237	6. Coreia do Sul	11.333
7. Japão	8.642	7. Canadá	10.751
8. Rússia	7.519	8. Finlândia	10.694
9. Indonésia	6.710	9. Brasil	10.260
10. Chile	5.155	10. Indonésia	10.247
11. Índia	4.095	11. Índia	10.242
12. Alemanha	2.636	12. Itália	8.664
Demais	10.376	Demais	90.789
TOTAL MUNDO	166.641	TOTAL MUNDO	399.985

Fonte: RISI

* Fonte Bracelpa

Fonte: BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/index.php>> Acesso em: 20 fev. 2013.

Em 2012, o Brasil produziu um total de 10.260 mil t de papel, sendo a maior produção destinada para os setores de embalagens (50,77%) e de impressão e escrita (25,99%) (Figura 14). De acordo com a BRACELPA, a madeira constitui a principal fonte de matéria-prima para fabricação de celulose, sendo o gênero *Eucalyptus* empregado para produção de celulose de fibra curta (fabricação de guardanapos, papel higiênico, papeis para imprimir e escrever) e o gênero *Pinus*, utilizado para geração de celulose de fibra longa, a qual é mais resistente (embalagens).

Figura 14 – Produção brasileira por tipo de papel em 2012

Fonte: BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/index.php>> Acesso em: 20 fev. 2013.

As indústrias de cimento utilizam embalagens de papel *Kraft* para embalar o produto em sacos de 50 kg e posteriormente comercializar no mercado nacional e internacional.

Em 2012, o Brasil produziu o equivalente a 68.809 mil t, valor 7,3% superior ao de 2011. O consumo desse material no território nacional foi da ordem de 69.324 mil t, um aumento de 6,7%. Parte do aumento do consumo deve-se ao crescimento da construção civil no país que foi de 1,4% no período (SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO, 2012).

Embora as construções civis sejam um ponto relevante para o desenvolvimento econômico da indústria de cimento, essas são responsáveis pela geração de grandes quantidades de resíduos sólidos que na maior parte das vezes são descartados no ambiente ou queimados, agravando problemas no ar, de ordem de saneamento público e contaminação ambiental, tais como, danos ao solo e ao lençol freático. Esse é o caso de cimento descartado nas obras (REBOUÇAS et al., 2011).

Na busca por soluções, muitas são as oportunidades criadas para evitar um desastre ecológico ainda maior ocasionado pelos sacos de cimento. Assim, a reciclagem desse material DAE seu uso para produção de painéis de partículas pode ser uma alternativa, uma vez que os sacos são fabricados com polpa de celulose de madeira da espécie *Pinus ssp.*, gênero que apresenta condutividade térmica ao redor de 0,15 W/mK, indicando boa resistência à passagem de energia térmica (UCHOA, 1989; GIGLIO, 2005).

Além do saco de cimento, a caixa de papel cartão utilizado nas embalagens de longa vida é outro resíduo sólido com potencial de reciclagem. Segundo os dados do Relatório de

Sustentabilidade da Tetra Pak[®], 75 bilhões de litros de produtos foram entregues no mundo, acondicionado em mais de 167 bilhões de embalagens, chegando ao total de 10,36 bilhões de euros em vendas líquidas mundiais em 2011.

O Brasil é considerado o segundo mercado mais relevante para venda de embalagens longa vida, ficando atrás somente da China. Em 2011, o país respondeu por 18% do faturamento global da empresa, de R\$10 bilhões. A empresa investirá R\$200 milhões para ampliar sua capacidade de produção local em quase 45%, até 2015. A decisão de ampliar a produção no Brasil está alinhada com o objetivo de manter crescimento médio de 7% ao ano até 2020. Caso a meta seja alcançada, as vendas no Brasil devem superar 20 bilhões de unidades por ano no final dessa década, o dobro do volume registrado em 2010 (ESTADÃO, 2013).

As embalagens de longa vida, quando descartadas pelos consumidores causam grandes impactos ambientais, caso essas não sejam recicladas. Essas embalagens são constituídas por papel (cartão), plástico (polietileno de baixa densidade) e alumínio. O papel (fibra longa) corresponde a 75% da embalagem, o alumínio 5% e o plástico 20% (MICHELS; LAMBERTS; GÜTHS, 2007).

Michels, Lamberts e Güths (2008) avaliaram o fluxo de calor de diferentes barreiras radiantes sob cobertura cerâmica. As embalagens longa vida foram uma das barreiras estudadas pelos pesquisadores. Os autores constataram que no horário de maior incidência de radiação (13h00min), as embalagens apresentaram 48% de eficiência na redução do fluxo de calor.

Até agora, não existem relatos sobre a utilização das embalagens longa vida associadas a painéis de partículas de saco de cimento. Assim, os sacos de cimento, oriundos da madeira de *Pinus spp.*, poderiam ser reciclados e utilizadas para a fabricação de painéis de partículas e associados com embalagens longa vida é possível obter um material com propriedades mecânicas e térmicas adequado para aplicação como forro.

3.6 Conclusão da revisão

A revisão da literatura permitiu descrever o estado da arte da avicultura de corte brasileira, indicando que essa atividade agropecuária é relevante no contexto do agronegócio nacional. No entanto, o setor defronta com desafios que precisam ser superados, como o

aumento da temperatura global prevista para as próximas décadas e a superação do modelo produtivo adotado atualmente pelo setor avícola, susceptível a variação do calor.

A fim de evitar altas temperaturas no interior dos aviários, foi documentada a importância de aplicação de forro durante o ciclo produtivo das aves de corte. Entretanto, os principais materiais empregados como forro são caracterizados como não sustentáveis, tornando necessário o desenvolvimento de tecnologias e materiais não convencionais (NOCMAT). Uma alternativa é o desenvolvimento de materiais isolantes de resíduos agroindustriais.

O Brasil tem uma grande diversidade de resíduos agrícolas que podem ser empregados como matéria-prima para fabricação de painéis de partículas. Entretanto, além desses, o país apresenta outros tipos de resíduos que poderiam ser utilizados para confecção de materiais alternativos, tais como: sacos de cimento descartados nas obras civis e embalagens longa vida residual.

Assim, o desenvolvimento e a fabricação de painéis particulados à base de sacos de cimento associados a embalagens de longa vida poderá ser uma alternativa de agregar valor a esses resíduos e simultaneamente reduzir o fluxo de calor no interior dos aviários, aplicando-os como forro.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Fluxograma do projeto

A Figura 15 apresenta um fluxograma que sumariza as fases desenvolvidas no projeto de pesquisa.

Figura 15 – Fluxograma do projeto de pesquisa

Fonte: Própria autoria

1. Fase: Essa fase correspondeu na coleta dos resíduos (sacos de cimento e embalagens longa vida) e a caracterização do processo empregado para desintegração dos sacos de cimento utilizados na fabricação dos painéis;
2. Fase: Após a caracterização do processo produtivo, as partículas geradas na etapa anterior foram utilizadas para fabricação dos painéis de partículas de saco de cimento com três diferentes densidades (0,4; 0,5 e 0,6 g.cm⁻³) e dois teores de resina poliuretana à base de óleo de mamona (PU-mamona) (12 e 15%). Posteriormente, foram determinadas as propriedades físicas, mecânicas e térmicas desses painéis e

com base na estatística inferencial, selecionada a densidade e o teor de resina que apresentou melhor desempenho;

3. Fase: Selecionada a densidade e o teor de resina, painéis de partículas de saco de cimento foram revestidos com embalagens longa vida e verniz. Na sequência, foram determinadas as propriedades físicas, mecânicas e térmicas e os dados foram avaliados e interpretados pela estatística inferencial, permitindo assim, detectar a eficiência de cada revestimento quando aplicado a esse material;
4. Fase: Após a seleção do revestimento, foram fabricados 18 painéis (revestidos com embalagem longa vida) e instalados como forro em protótipo experimental de galpão de frango de corte (executados em escala reduzida e distorcida), com o objetivo de avaliar a eficiência térmica desse material.

4.2 Primeira fase – caracterização da matéria-prima

4.2.1 Materiais

Para fabricação do forro foram utilizados sacos de cimento coletados em obras civis e embalagens longa vida residual (Figura 16). Posteriormente, esses resíduos foram remetidos para o Laboratório de Construções e Ambiente FZEA/USP.

Figura 16 – Resíduos: (a) saco de cimento. (b) embalagens longa vida

Fonte: Própria autoria

4.2.2 Processo de desintegração dos sacos de cimento

Os sacos de cimento coletados nas obras civis foram transladados para um recipiente com 120 l de água com objetivo de remover às partículas finas aderidas ao material, uma vez que material pulverulento influencia negativamente no desgaste dos equipamentos e no processo de adesão da resina com as partículas (Figura 17). Em cada lavagem foi utilizado uma proporção de 15 sacos de cimento.

Figura 17 – Lavagem do saco de cimento

Fonte: Própria autoria

A fim de gerar partículas com menores dimensões, após a lavagem, os sacos de cimentos foram cortados aleatoriamente com as mãos e na sequência, alocados em um recipiente. Posteriormente, a massa de partículas obtida foi aferida em uma balança eletrônica modelo AY220 (Figura 18).

Figura 18 – Geração de partículas: (a) sacos de cimento sendo cortados. (b) partículas de saco de cimento cortadas

Fonte: Própria autoria

Em seguida, as partículas foram remetidas para um misturador vertical modelo MRF 31450 com a quantidade de 190 l de água. Os grupos hidroxilas presentes nas estruturas químicas das fibras, ligam-se através de ligações de hidrogênio com as moléculas de água, promovendo assim, a transferência de energia mecânica do misturador para a desagregação dos sacos de cimento (Figura 19).

Figura 19 – Misturador vertical: (a) misturador vertical vazio. (b) misturador vertical com partículas de saco de cimento

Fonte: Própria autoria

As partículas ficaram alocadas no misturador durante um período de 12 horas, para garantir que toda massa de partícula transformasse em polpa. Em seguida, com auxílio de uma peneira (0,150 mm) foi retirado o excesso de água aderida na polpa e, na sequência, a massa foi aferida na balança digital. A fim de reduzir gastos com a secagem em estufa, após a pesagem, a massa de polpa foi direcionada para uma centrifuga (C2A05BBANA) permanecendo durante 3 min. (Figura 20).

Figura 20 – Transformação dos sacos de cimento em polpa: (a) misturador com polpa. (b) polpa na peneira. (c) remoção do excesso de água

Fonte: Própria autoria

Após a centrifugação, a polpa foi disposta em um misturador planetário (MT120), por um período de 5 minutos, com o objetivo de desagregar as partículas contidas na polpa que ficaram aderidas nas etapas anteriores (Figura 21).

Figura 21 – Desagregação das partículas: (a) polpa após centrifugação. (b) partículas de polpa desagregadas

Fonte: Própria autoria

Em seguida, a massa de partícula desagregada foi transferida para uma estufa (MA035), com temperatura de 60°C até atingir a umidade de 8%, pois, segundo Bertolini (2011), a utilização de partículas (*Pinus sp.*) com 8,6% de umidade não interfere nas propriedades mecânicas dos painéis de partículas produzidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona.

4.2.3 Classificação granulométrica

A geometria das partículas é uma das variáveis que interfere nas propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados. Segundo Haselein et al. (2002) o comprimento e a espessura afetam as propriedades mecânicas (MOR e MOE), enquanto que o inchamento e a resistência ao arrancamento de parafuso é influenciada pela espessura das partículas.

Com base no exposto, foi determinada a percentagem granulométrica da massa total (8% de umidade) após a saída da estufa. Para efetuar essa análise, foi utilizada uma peneira vibratória (PRODUTEST) composta por seis malhas (5/16, 5, 10, 18, 30 e 50). Após cada batida (7 min.), as partículas retidas em cada malha eram retiradas e seu peso registrado.

4.2.4 Densidade real das partículas

Para obter a densidade real das partículas, uma amostra que permaneceu em estufa durante 24 horas, a 60°C, foi transferida para o multipicnômetro a gás hélio (ULTRAPYCNOMETER), visando quantificar material lenhoso contido nas partículas de saco de cimento (Figura 22). Nesse ensaio, para a mesma amostra, foi realizada oito mensurações até atingir o desvio de $\pm 0,002$.

Figura 22 – Densidade real das partículas: (a) porta amostra. (b) multipicnômetro

Fonte: Própria autoria

4.2.5 Análise microestrutural

A análise microestrutural das partículas de sacos de cimento possibilitou identificar as características das fibras e suas dimensões após o processo de desintegração. Essas informações são relevantes para justificar as propriedades físico-mecânicas dos painéis.

Dessa forma, foi efetuada uma análise microestrutural das partículas e também, dos painéis (2,5 cm x 2,5 cm x 1 cm) no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), marca Hitachi modelo Analytical Table Top Microscope TM300. Além dessa caracterização, foi realizada uma análise de espectro por energia dispersiva (EDS), a fim de verificar a eficiência da lavagem na remoção dos resíduos de cimento (Figura 23).

Figura 23 – Análise microestrutural: (a) partículas de saco de cimento desagregadas. (b) corpo de prova do painel. (c) corpo de prova no Microscópio Eletrônico de Varredura

Fonte: Própria autoria

4.2.6 Composição química

As propriedades químicas das matérias-primas utilizadas na fabricação de painéis particulados 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 propriedade dos painéis foi efetuado a quantificação dos componentes químicos (celulose, hemicelulose, lignina e cinzas) presentes nas partículas de sacos de cimento. Essa análise foi realizada empregando a metodologia de Van Soest (1994) descrita pela EMBRAPA (2010).

4.3 Segunda fase – Avaliação da densidade e teor de resina

4.3.1 Produção dos painéis

Após o período de secagem das partículas em estufa (24 horas a 60°C) foi elaborado os cálculos para averiguar a quantidade de massa necessária para produzir os painéis de partículas com densidade nominal de 0,4, 0,5 e 0,6 g.cm⁻³. Para mensurar o volume do material foram utilizados como parâmetros as medidas do colchão formador de painel (400 x 400 mm) e a espessura do painel a ser produzido 10 mm. Fixado a quantidade de massa necessária para cada painel, às partículas foram pesadas utilizando uma balança eletrônica

(AY220). Terminado as pesagens das partículas, essas foram transferidas para um recipiente com capacidade de 35 l.

A resina PU-mamona é composta pelo polioli (fase clara) e o catalisador (fase escura). Os teores de resina empregados para fabricar os painéis de partículas foram de 12 e 15%, com base na massa do painel de partícula. A proporção de catalisador e polioli foi de 50:50. A Figura 24 ilustra o procedimento de preparação da resina.

Figura 24 – Resina: (a) catalisador (fase escura) e polioli (fase clara). (b) mistura e homogeneização do catalisador e polioli

Fonte: Própria autoria

Determinado a quantidade de partículas e resina, esses foram remetidos para um misturador planetário (MT120) por três minutos com o propósito de homogeneizar a mistura das partículas com a resina poliuretana. Posteriormente, as partículas com resina foram direcionadas para um molde formador de painel com dimensão de 400 x 400 mm. As chapas de aço da prensa 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 com barras de metal (10mm) para formação da espessura, a uma temperatura média de 100°C, durante o período de 10 minutos de prensagem, com pressão média de 5 MPa, para formação do painel. Concluído a prensagem, os painéis de partículas foram dispostos à temperatura ambiente por 72 horas, período em que ocorre a continuação do processo de cura da resina (Figura 25).

Figura 25 – Fabricação do painel: (a) material pré-prensado manualmente. (b) painel na prensa hidráulica. (c) painel experimental

Fonte: Própria autoria

4.3.2 Propriedades físicas

Para realizar a caracterização física dos painéis de partículas foi adotada as recomendações da NBR 14810:2006.

4.3.2.1 Densidade aparente

Para determinar a densidade aparente dos painéis de partículas foram retirados aleatoriamente, 10 corpos de prova para cada combinação de densidade (0,4, 0,5 e 0,6 g.cm⁻³) e teor de resina (12 e 15%). Com o auxílio de um paquímetro foram efetuadas as dimensões dos corpos de prova (largura e espessura) e na sequência, esses foram pesados em uma balança eletrônica (AY220). Com os dados da massa e volume dos corpos de prova foi determinada a densidade aparente pela equação (4) (ABNT 14.810:2006).

$$D = \frac{M}{V} * 1000000 \quad (4)$$

Onde:

D = densidade do CP em kg/m³;

M = massa do CP em g;

V = volume do CP em mm³

4.3.2.2 Absorção de água

Para avaliar a absorção de água dos painéis de partículas foi retirado aleatoriamente um total de 180 corpos de prova (25 mm x 25 mm x 10 mm). Na sequência, as dimensões dos corpos de prova foram aferidas com auxílio de um paquímetro.

Determinada as dimensões dos corpos de prova, esses foram pesados e depois inseridos em um recipiente com água destilada (20°C), ficando submersos durante o período de 4, 8, 12, 16, 20 e 24h.

Após o término de cada período, os corpos de prova foram retirados do recipiente e secos com papel absorvente. Na sequência, foram pesados em uma balança eletrônica (AY220). Com os dados de massa dos corpos de prova foi calculada a variável absorção de água adotando a equação (5) (ABNT 14.810:2006).

$$A = \frac{M_1 - M_0}{M_0} * 100 \quad (5)$$

Onde:

A = absorção de água (%);

M1 = peso do CP após o período de imersão, em g;

M0 = peso do CP antes da imersão, em g.

4.3.2.3 Inchamento em espessura

Para avaliar o inchamento em espessura dos painéis foi retirado um total de 180 corpos de prova (25 mm x 25 mm x 10 mm). Em seguida, as dimensões dos corpos de prova foram determinadas com um paquímetro. Após a mensuração dessas dimensões, as amostras foram transferidas para um recipiente com água destilada (20°C), ficando submersos durante o período de 4, 8, 12, 16, 20 e 24h.

Decorrido o término de cada período, os corpos de prova foram retirados do recipiente e secos com papel absorvente. Posteriormente, com auxílio de um paquímetro, foi determinada a espessura dos corpos de prova.

Com os dados de espessura dos corpos de prova foi calculado a variável inchamento utilizando a equação (6) (ABNT 14.810:2006).

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} * 100 \quad (6)$$

Onde:

I = inchamento em espessura do CP (%);

E1 = espessura do CP após o período de imersão, em mm;

E0 = espessura do CP antes da imersão, em mm

4.3.2.4 Análise experimental

Para análise inferencial foi montado um experimento para variável densidade aparente. Nesse experimento, as unidades experimentais foram dispostas segundo o delineamento inteiramente casualizado (DIC), onde os tratamentos foram organizados em esquema fatorial 3x2, sendo o fator Densidade composto por três níveis (0,4, 0,5 e 0,6 g.cm⁻³) e o fator Resina por dois níveis (12 e 15%), totalizando 6 tratamentos.

Para as propriedades absorção de água e inchamento em espessura foram montados dois experimentos, dispostos em delineamento inteiramente casualizado (DIC) e os tratamentos estudados foram organizados em esquema fatorial 3x2x6, onde os fatores estudados corresponderam a Densidade, Resina e Horas. O fator Densidade constituiu-se de três níveis (0,4, 0,5 e 0,6 g.cm⁻³), o fator Resina compreendeu em dois níveis (12 e 15%) e o fator Horas compreendeu em seis níveis (4, 8, 12, 16, 20 e 24 horas), totalizando em 36 tratamentos.

Após a coleta de dados, esses foram submetidos ao Teste de Shapiro Wilk com o propósito de averiguar a normalidade dos resíduos e posteriormente testados pelo Teste de Bartlett para avaliar a homogeneidade das variâncias, uma vez que a realização desses testes é necessária, pois segundo Nogueira (2007) são pressuposições para realizar a ANOVA.

Os dados qualitativos foram analisados por meio do teste de Tukey quando a ANOVA foi significativa, sendo testados a p<0,05. Já os dados quantitativos foram analisados por meio da regressão. O software utilizado para interpretação dos dados foi o Programa R versão 2.5.1.

4.3.3 Propriedades mecânicas

Para realizar as caracterizações mecânicas dos painéis de partículas foram adotadas as recomendações da NBR 14810:2006.

4.3.3.1 Resistência e módulo elástico a flexão

Para executar esse ensaio foram obtidos 60 corpos de prova (250 mm x 50 mm x 10 mm), sendo 10 referentes para cada combinação de densidade (0,4, 0,5 e 0,6 g.cm⁻³) e teor de resina (12 e 15%). Para determinar o módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade a flexão (MOE) foi utilizada a Máquina Universal de Ensaio Mecânicos (DL 30.000).

Antes de iniciar esse ensaio, com auxílio de um paquímetro as dimensões dos corpos de prova foram mensuradas, sendo efetuadas em três pontos para largura e três pontos para espessura.

Finalizado as medições nos corpos de provas, esses foram posicionados sobre dois apoios da máquina universal de ensaios, sendo o comprimento do vão 10 vezes a espessura do corpo de prova, de modo que o dispositivo possa aplicar a carga e que coincida com o centro do corpo de prova. De acordo com a norma ABNT 14.810:2006 – Chapa de Madeiras Aglomeradas, a velocidade ajustada na máquina em função da espessura foi de 9 mm/min. Na sequência, a máquina foi acionada até a ruptura do corpo de prova (Figura 26).

Figura 26 – Ensaio de flexão: (a) apoios da máquina. (b) corpo de prova ensaiado

Fonte: Própria autoria

A resistência e o módulo de elasticidade à flexão (MOR e MOE) foram determinados pela eq. (7) e eq. (8), respectivamente.

$$MOR = 1,5 * \frac{(P * D)}{B * (E)^2} \quad (7)$$

Onde:

MOR = módulo de ruptura, em MPa;

P = carga de ruptura, em N;

D = distância entre apoios do aparelho, em mm;

B = largura do CP, em mm.

E = espessura, em mm.

$$MOE = \frac{(P_1 * D^3)}{d * 4 * B * (E)^3} \quad (8)$$

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 CP, em mm;

E = espessura, em mm.

4.3.3.2 Análise experimental

Para analisar as propriedades mecânicas (MOR e MOE) dos painéis de partículas foi empregado o mesmo delineamento experimental para densidade aparente, documentado na sessão 4.3.2.4.

4.3.4 Propriedades térmicas

Para determinar a condutividade e resistência térmica dos painéis de partículas foi adotada as recomendações do documento ASTM E 1530-11, enquanto que para o fator solar foi empregado o documento NBR 13507-2.

4.3.4.1 Condutividade e resistência térmica

Para determinar a condutividade e a resistência térmica dos painéis com diferentes densidades (0,4, 0,5 e 0,6 g.cm⁻³) e teor de resina (12 e 15%) foram obtidos um total de 30 corpos de prova com dimensão de 5 cm de diâmetro e 1 cm de espessura, sendo 5 referentes para cada combinação (Figura 27 a). Após a obtenção das amostras experimentais, essas foram revestidas na parte superior e inferior com uma pasta térmica visando reduzir a resistência térmica entre a amostra e o equipamento (Figura 27 b). Em seguida, com auxílio de um paquímetro foi mensurada a espessura dos corpos de prova e os mesmos remetidos para

o equipamento DTC-300 Model 2022 (Figura 27 c), sendo determinada a condutividade térmica e a resistência térmica.

Figura 27 – Ensaio condutividade e resistência térmica: (a) corpo de prova. (b) aplicação da pasta térmica. (c) corpo de prova durante o ensaio

Fonte: Própria autoria

A resistência térmica e a condutividade térmica foram determinadas pelas eq. (9) e eq. (10).

$$R_s = \frac{e}{\lambda} \quad (9)$$

Onde:

R_s = resistência térmica da amostra m^2K/W

e = espessura da amostra m

λ = condutividade térmica W/mK

$$R_s = \left[\frac{T_u - T_m}{Q} \right] - R_{int} \quad (10)$$

Onde:

R_s = resistência térmica da amostra m^2K/W

T_u = temperatura da placa superior $^{\circ}C$

T_m = temperatura da placa inferior $^{\circ}C$

Q = Fluxo de calor W

R_{int} = resistência total da interface entre amostra e a superfície das placas m^2K/W

4.3.4.2 Fator solar

O fator de ganho de calor solar (FS_o) de elementos opacos, consiste no quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo, ou seja, essa grandeza informa a energia transmitida para o interior de um edifício (NBR 13507-2).

Para determinar o FS_o em uma instalação avícola, é necessário primeiramente quantificar a resistência térmica total, a qual consiste no somatório da resistência térmica da cobertura, do ar e do forro, incluindo a resistência superficial interna e externa. A resistência térmica total foi determinada pela eq. (11) e eq. (12).

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + R_{t3} \quad (11)$$

Onde:

R_t = resistência térmica de superfície a superfície m^2K/W

R_{t1} = resistência térmica da cobertura m^2K/W

R_{t2} = resistência térmica do ar m^2K/W

R_{t3} = resistência térmica do forro m^2K/W

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \quad (12)$$

Onde:

R_T = resistência térmica total m^2K/W

R_{si} = resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície interna de um componente que transfere calor por radiação e convecção m^2K/W

R_t = resistência térmica de superfície a superfície m^2K/W

R_{se} = resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície externa de um componente que transfere calor por radiação e convecção m^2K/W

Após a quantificação da resistência térmica total é determinado o coeficiente global de transmitância térmica, que engloba as trocas térmicas superficiais (convecção e radiação) e as trocas térmicas através do material (condução). Assim esse coeficiente foi determinado pela eq. (13).

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (13)$$

Onde:

U = transmitância térmica de componente W/ m²K

R_T = resistência térmica total m²K/W

Posteriormente, com base no valor do coeficiente global de transmitância térmica e absorptância à radiação solar, foi determinado o FS_o pela eq. (14).

$$FS_o = 4 * U * \alpha \quad (14)$$

Onde:

FS_o = fator solar de elementos opacos %

U = transmitância térmica do componente W/ m²K

α = absorptância à radiação solar em função da cor %

Assim, o FS_o foi determinado para o período de verão, maior tendência de estresse térmico para avicultura, simulando seis instalações a saber:

- a) cobertura de fibrocimento pintada de branco e painel aplicado como forro (0,4 g.cm⁻³ e 15% de resina);
- b) cobertura de fibrocimento pintada de branco e painel aplicado como forro (0,4 g.cm⁻³ e 12% de resina);
- c) cobertura de fibrocimento pintada de branco e painel aplicado como forro (0,5 g.cm⁻³ e 15% de resina);
- d) cobertura de fibrocimento pintada de branco e painel aplicado como forro (0,5 g.cm⁻³ e 12% de resina);
- e) cobertura de fibrocimento pintada de branco e painel aplicado como forro (0,6 g.cm⁻³ e 15% de resina);
- e) cobertura de fibrocimento pintada de branco e painel aplicado como forro (0,6 g.cm⁻³ e 12% de resina).

A Tabela 6 apresenta os dados que foram empregados para determinar o FS_o.

Tabela 6 – Dados de entrada para o cálculo do Fator Solar

Telha de Fibrocimento		Painel de partícula	
Densidade	1,90 g cm ⁻³	Densidade	0,4, 0,5 e 0,6 g.cm ⁻³
Condutividade Térmica	0,65 W/mK	Condutividade Térmica	Valores obtidos na DTC 300
Espessura	0,80 cm	Espessura	1,00 cm

Fonte: Própria autoria

4.3.4.3 Análise experimental

Para avaliar a influência da densidade e do teor de resina nas propriedades térmicas supracitadas, foi adotado o mesmo delineamento estatístico empregado para densidade aparente, descrito no item 4.3.2.4.

4.3.5 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.

4.4 Terceira fase – Avaliação das embalagens longa vida e verniz como revestimento

Na terceira fase do estudo foram realizados experimentos para avaliar a eficiência do verniz e das embalagens de longa vida como revestimento nos painéis de partículas. Foram investigadas as propriedades físicas (absorção de água e inchamento em espessura), propriedades mecânicas (MOR e MOE) e propriedades térmicas (condutividade térmica, resistência térmica e emissividade) do tratamento (combinação entre densidade e resina) selecionado na fase anterior.

4.4.1 Propriedades físicas

Para realizar a caracterização física dos painéis de partículas foi adotada as recomendações da NBR 14810:2006.

4.4.1.1 Absorção de água

Para determinar a absorção de água foram utilizados 60 corpos de prova (25 mm x 25 mm x 10 mm), sendo 20 referentes à testemunha (sem revestimento) e os restantes, corresponderam aos revestimentos estudados (verniz e embalagem longa vida).

As amostras que receberam verniz tiveram todas as suas superfícies revestidas, inclusive as laterais, sendo aplicadas duas camadas desse material. Já os corpos de prova que foram revestidos com embalagem longa vida, não tiveram suas laterais vedadas com esse material. Para fixação das embalagens as superfícies das amostras foi utilizado um adesivo instantâneo, o qual se caracteriza por ser um material de uso geral, inclusive para madeiras e MDF (Figura 28).

Figura 28 – Corpos de prova: (a) corpo de prova revestido com verniz. (b) superfície superior do corpo de prova revestido com embalagem longa vida com exposição do alumínio. (c) testemunha. (d) superfície inferior do mesmo corpo de prova com exposição do papel cartão.

Fonte: Própria autoria

Para avaliar a absorção de água dos tratamentos foi empregada a mesma metodologia descrita no item 4.3.2.2.

4.4.1.2 Inchamento em espessura

Para determinar o inchamento em espessura foi obtido um total de 60 corpos de prova (25 mm x 25 mm x 10 mm) em que 40 foram representados pelos revestimentos (verniz e embalagem longa vida) e os restantes pertencentes à testemunha (sem revestimento). Quanto à

aplicação do verniz e das embalagens de longa vida sobre as amostras, foram adotados os mesmos procedimentos para o ensaio de absorção de água (Figura 34).

Para avaliar a absorção de água dos tratamentos foi empregada a mesma metodologia descrita no item 4.3.2.3.

4.4.1.3 Análise experimental

Para testar a eficiência dos revestimentos na variável absorção de água e inchamento em espessura do painel de partícula, foram executados dois experimentos dispostos em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em que os tratamentos estudados foram organizados em esquema fatorial 3x2, onde os fatores estudados corresponderam a Revestimento e Horas. O fator Revestimento constitui-se em três níveis (embalagem longa vida, verniz e testemunha), enquanto que o fator Horas foi composto por dois níveis (2 e 24 horas), totalizando em 6 tratamentos com 10 repetições.

Atendendo as pressuposições para ANOVA, os dados foram analisados por meio do teste de Tukey quando essa apontou significância para o fator estudado. Essas análises foram efetuadas no software R versão 2.5.1, com $p < 0,05$.

4.4.2 Propriedades mecânicas

Para realizar a caracterização mecânica dos painéis de partículas foi adotada as recomendações da NBR 14810:2006.

4.4.2.1 Resistência e módulo elástico à flexão

Para efetuar esse ensaio foram obtidos 30 corpos de prova (250 mm x 50 mm x 10 mm), em que 10 foram referentes à testemunha (sem revestimento) e os restantes revestidos com verniz e embalagem longa vida. Para averiguar o módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade a flexão (MOE) foi utilizada a Máquina Universal de Ensaio Mecânicos (DL 30.000).

Para avaliar as propriedades mecânicas dos tratamentos foi adotada a mesma metodologia do item 4.3.3.1

4.4.2.2 Análise experimental

Para avaliar a viabilidade dos revestimentos nas propriedades mecânicas dos painéis de partículas, foram montados dois experimentos, sendo um para variável MOR e o outro para o MOE. Em ambos os experimentos, o planejamento experimental foi o mesmo empregado no item 4.4.1.3.

4.4.3 Propriedades térmicas

Para determinar as propriedades térmicas foram adotados os mesmo documentos normativos do item 4.3.4.

4.4.3.1 Condutividade e resistência térmica

Para determinar a condutividade e a resistência térmica dos painéis de partículas, foram extraídos aleatoriamente 15 corpos de prova (5 cm de diâmetro e 1 cm de espessura), sendo 5 referentes a testemunha (sem revestimento) e os demais revestidos pelo verniz e embalagem longa vida (Figura 29).

Figura 29 – Corpos de prova: (a) corpo de prova revestido com embalagem longa vida. (b) corpo de prova revestido com verniz. (c) testemunha.

Fonte: Própria autoria

Essas propriedades térmicas foram determinadas adotando a metodologia documentada no item 4.3.4.1.

4.4.3.2 Fator solar

Para avaliar a eficiência dos revestimentos no FS_o foram simuladas três instalações avícolas a saber: a) cobertura de fibrocimento pintada de branco e painel de partícula revestido com embalagem longa vida aplicada como forro, (b) cobertura de fibrocimento pintada de branco e painel de partícula revestido com verniz aplicado como forro e (c) cobertura de fibrocimento pintada de branco (Testemunha) com ausência de forro (Figura 30).

Figura 30 – Instalações avícolas: (a) painel de partícula revestido com embalagem longa vida. (b) painel revestido com verniz. (c) testemunha

Fonte: Própria autoria

Para determinar essa propriedade térmica foi adotada a metodologia documentada no item 4.3.4.2.

4.4.3.3 Emissividade

A emissividade consiste no quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura (NBR 13507-2). Assim, para determinar essa variável foram produzidos 8 corpos de prova com dimensões de 10 x 20 cm. Na sequência, 2 amostras foram direcionadas para testemunha, enquanto que as demais foram revestidas com embalagem longa vida e verniz (Figura 31).

Figura 31 – Corpos de prova: (a) parte superior revestida com embalagem longa vida. (b) parte inferior revestida com embalagem longa vida. (c) revestido com verniz. (d) Testemunha

Fonte: Própria autoria

Após a preparação das amostras experimentais, essas foram transferidas para um emissômetro a fim de detectar a emitância em ondas longas (Figura 32). Para determinar essa variável foram adotados os procedimentos do documento normativo ASTM C1371-04 (2004).

Figura 32 – Ensaio de emissividade: (a) emissômetro. (b) realização do ensaio

Fonte: Própria autoria

4.4.3.4 Análise experimental

Para avaliar a influência dos revestimentos nas propriedades térmicas, foram montados quatro experimentos. Para condutividade térmica, resistência térmica e FS_o , os experimentos foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) composto pelo fator Revestimento, constituído em três níveis (embalagem longa vida, verniz e testemunha). Já para variável emissividade foi empregado o mesmo delineamento, no entanto, o fator Revestimento era composto em quatro níveis (alumínio, cartão, testemunha e verniz). Para

testar a significância entre os tratamentos foi adotado o mesmo teste de comparação múltipla do item 4.4.1.3.

4.5 Quarta fase – Desempenho térmico dos painéis revestidos com embalagem longa vida aplicados como forro

4.5.1 Dimensões dos protótipos experimentais

Conforme relatado na revisão bibliográfica, os protótipos em escala reduzida e distorcida são modelos empregados para avaliar a eficiência térmica de materiais construtivos na avicultura. Dessa forma, seguindo as recomendações de Sevegnani (1997) e Moura (2008) foram executados dois protótipos em escala reduzida e distorcida, sendo adotado a escala 1:10 para dimensões horizontais e 1:2 para as medidas verticais (Tabela 7).

Tabela 7 – Dimensões dos protótipos			
	Dimensões		
	Real	1:10	1:2
Largura (m)	15,00	1,50	
Comprimento (m)	30,00	3,00	
Beiral (m)	2,00	0,20	
Pé direito (m)	3,00		1,50
Altura da parede (m)	0,80		0,40
Espessura da parede (m)	0,20		0,10

Fonte: Própria autoria

4.5.2 Produção dos painéis de partículas revestidos com embalagens longa vida

Para testar o desempenho térmico do material (combinação entre densidade e teor de resina selecionada na fase 2), primeiramente, foram fabricados 18 painéis de partículas (500 x 500 x 10 mm) à base de saco de cimento e PU-mamona (Figura 33 a). Posteriormente, com auxílio do adesivo instantâneo, a superfície superior da placa foi revestida com embalagem longa vida com o alumínio exposto ao ambiente (Figura 33 c), enquanto que a superfície inferior foi revestida, de modo que, o papel cartão ficou exposto ao ambiente (Figura 33 b).

Figura 33 – Revestimento dos painéis de partículas: (a) painel sem revestimento. (b) revestimento inferior. (c) revestimento superior. (d) painéis com revestimento superior. (e) painéis revestidos.

Fonte: Própria autoria

4.5.3 Execução dos protótipos

No campo experimental, foram montados dois protótipos em escala reduzida e distorcida, ambos confeccionados em tubos de aço galvanizado (56 cm x 5 cm) nas dimensões de 3,00 m x 1,5 m. Para o piso interno e o fechamento das fachadas (leste e oeste) foram utilizados painéis OSB (painel aglomerado), enquanto que para a mureta lateral (0,40 m) foi empregado madeiras.

Com intuito de localizar os pontos cardeais na área experimental foi utilizado um GPS modelo Garmin Etrex 30, a fim de que os protótipos fossem locados na direção leste-oeste (Figura 34 a). Após a demarcação dos pontos cardeais, foram efetuados oito perfurações com 0,60 m de profundidade com objetivo de fixar os protótipos. Para evitar que os pisos dos protótipos tivessem contato direto com o solo, esses foram instalados a uma altura de 0,40 m, para que assim evitasse a transferência de umidade do solo para os protótipos (Figura 34 b).

Devido à alta incidência de radiação solar na área experimental, a fachada leste e oeste dos protótipos foram pintados com tinta branca, uma vez que essa técnica permite aumentar a refletância do material. As coberturas dos protótipos foram compostas de placas de fibrocimento, pois segundo Cravo et al. (2012) 75,87% das instalações avícolas empregam esse tipo de cobertura. Já, nas laterais voltadas para o norte e sul, foram instaladas cortinas de cor azul. Além disso, o ático nos modelos foi vedado com plástico transparente para evitar entrada de água durante os dias de chuva.

Figura 34 – Demarcação dos pontos cardiais e instalação dos protótipos: (a) protótipos na área experimental. (b) ático vedado com plástico nos protótipos

Fonte: Própria autoria

A fim de testar o desempenho térmico dos painéis revestidos com embalagem longa vida, esses foram fixados como forro em um dos protótipos. Para fixação dos painéis foi utilizado uma estrutura plana e nivelada, sendo que as superfícies de alumínio dos painéis ficaram orientadas em direção à cobertura e a superfície com papel cartão, direcionada ao ambiente interno do protótipo (Figura 35).

Figura 35 – Aplicação dos painéis revestidos com embalagem longa vida no protótipo: (a) face superior com alumínio. (b) face inferior com papel cartão

Fonte: Própria autoria

4.5.4 Coleta dos dados ambientais no interior dos protótipos

Para aferir os dados climáticos no interior dos protótipos foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Termômetro de bulbo seco e bulbo úmido marca Incoterm[®];
- Data loggers da marca HOBO para mensurar a temperatura ambiente e umidade relativa interna nos modelos;
- Termômetro de infravermelho para aferir a temperatura da telha e da superfície interna do forro.

Os termômetros e os loggers foram instalados na região central dos protótipos a uma altura de 0,30 cm, pois segundo Santos et al. (2002) o centro de gravidade das aves correspondem a 30 cm do solo.

As leituras dos dados ambientais foram realizadas durante um total de 15 dias na estação de primavera de 2014, verão, outono e inverno de 2015. 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. 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 e 18h00min. Com relação à temperatura superficial do forro e das telhas, as coletadas foram efetuadas somente às 12h00min e 14h00min.

4.5.5 Determinação dos índices de conforto térmico

4.5.5.1 Entalpia

Para determinar a entalpia no interior dos protótipos, durante os diferentes horários estudados, foi utilizado a eq. (15) proposta por Rodrigues et al. (2011).

$$H = 1,006 * t + UR/P_B * 10^{(7,5*t/237,3+t)} * (71,28 + 0,052 * t) \quad (15)$$

Onde

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

t = Temperatura do ar (°C);

UR = Umidade relativa do ar (%);

P_B = Pressão barométrica local (mmHg).

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

4.5.5.2 Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte (IAPfc)

Para determinar o IAPfc no interior dos protótipos para os diferentes horários avaliados foi adotada a eq. (16) desenvolvida por Medeiros et al. (2005).

$$\text{IAPfc} = 45,6026 - 2,31072 t - 0,368331 u + 9,70922 v + 0,0549243 t^2 + 0,0012183 u^2 + 0,66329 v^2 + 0,012897 tu - 0,300928 tv - 0,0595245 uv \quad (16)$$

Onde

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

t = temperatura;

u = umidade relativa;

v = velocidade do ar.

4.5.6 Análise experimental dos protótipos

Para avaliar a temperatura superficial, temperatura ambiente, umidade relativa e os índices de conforto térmico (Entalpia e IAPfc) nas diferentes estações do ano, foram montados experimentos dispostos segundo o delineamento em blocos casualizados (DBC) no esquema fatorial 2x6 em que os fatores estudados corresponderam a Acondicionamento e Horas. O fator Acondicionamento térmico foi constituído de dois níveis (Com forro e Sem forro) e o fator Horas compreendeu em seis níveis (8h00min, 10h00min, 12h00min, 14h00min, 16h00min e 18h00min), totalizando em doze tratamentos para cada estação, com exceção a temperatura superficial que foi composta por dois níveis para o fator Horas (12h00min e 14h00min). As repetições de cada tratamento foram consideradas os dias de coleta dos dados climáticos comentados anteriormente.

Os fatores qualitativos foram analisados por meio do teste de Tukey quando a ANOVA foi significativa, sendo testados a $p < 0,05$, enquanto que os fatores quantitativos foram avaliados pela regressão. O software utilizado para interpretação dos dados foi o Programa R versão 2.5.1.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Primeira fase – caracterização da matéria-prima

Esse item descreve a caracterização do processo e da matéria-prima empregada para confecção de painéis de partículas de saco de cimento e resina PU-mamona. Os tópicos abordados são relatados a seguir:

- Produção das partículas;
- Análise granulométrica;
- Densidade das partículas;
- Análise microestrutural;
- Espectro por energia dispersiva (EDS);
- Composição química;
- Custo para transformação das partículas;
- Considerações parciais da fase 1

5.1.1 Produção das partículas

O processo adotado para desagregação dos sacos de cimento em partículas foi composto de cinco etapas (Lavagem, Picagem, Misturador, Centrífuga e Estufa). Durante esse processo, foi constatado que após a desagregação ocorrida no misturador, a massa total da polpa (10,35 kg), foi 2,42 kg superior ao da etapa de lavagem e picagem que correspondeu em 7,93 kg. Essa discrepância pode ser devido à desagregação das fibras contidas nos sacos, as quais apresentaram maior superfície de contato com as moléculas de água, resultando assim, em maior absorção de água e consequentemente, aumento da massa total (Figura 36).

Figura 36 – Teor de massa total em cada etapa do processo de desintegração dos sacos de cimento

Fonte: Própria autoria

Na parede celular das fibras vegetais estão presentes aproximadamente 70% de polissacarídeos (celulose e hemiceluloses). A interação da água com os polissacarídeos ocorre via ligação de hidrogênio com as hidroxilas (OH⁻). Segundo Nelson e Cox (2006) essa força intermolecular se estabelece quando o hidrogênio se liga covalentemente com os três elementos químicos mais eletronegativos (F, O e N), acarretando polarização da ligação e consequentemente, deficiência de elétrons no hidrogênio. As hidroxilas estão mais disponíveis nas hemiceluloses (amorfos), enquanto que na celulose essa interação ocorre com as hidroxilas da região amorfa.

Nessas fibras, a celulose é a principal responsável pela resistência. Assim, quando as moléculas de água interagem quimicamente com as hidroxilas desse polissacarídeo, ocorre um afastamento das cadeias de celulose, diminuindo a força de interação sobre elas. Quanto menor a força de interação molecular, menor a resistência da fibra. Portanto, quando os sacos de cimento foram lavados e colocados no misturador com água, as fibras absorveram água, suas resistências foram reduzidas e consequentemente, ocorreu à desagregação das fibras.

Figura 37 – Molécula de celulose ligada às moléculas de água

Fonte: Adaptado de Fernando Santos et al. (2012)

A utilização da centrífuga reduziu o conteúdo de água da massa total em 41,13% quando comparado com a massa correspondente à saída do misturador. Essa diferença foi equivalente a 4,05 l de água. Apesar da centrífuga ter reduzido o teor de água contida na polpa, essa técnica não removeu todas as moléculas de água, pois foi constatada a permanência de massa úmida. Dessa forma, a massa foi transferida para uma estufa até atingir teor de umidade de 8%.

O controle do teor de umidade nas partículas é um dos fatores preponderantes para fabricação dos painéis aglomerados, uma vez que essa variável influencia na mobilização e na taxa de absorção da resina pelas partículas (IWAKIRI; KEINERT; ALBUQUERQUE, 2005). Os trabalhos referentes a painéis de partículas reportam que matéria-prima deve apresentar entre 3 a 5% de umidade, para assegurar boa eficiência na ligação entre resina e partícula. No entanto, segundo Bertolini (2011), a utilização de partículas (*Pinus sp.*) com 8,6% de umidade não interferiu nas propriedades mecânicas de painéis de partículas fabricados com resina PU-mamona. Portanto, para confecção dos painéis desse estudo foi adotado teor de 8% de umidade.

O processamento dos 15 sacos de cimento revelou rendimento de 2,47 kg de massa com 8% de umidade. Com base nesse valor, foi estimada a quantidade de painéis que poderiam ser produzidas em cada densidade estudada (0,4, 0,5 e 0,6 g.cm⁻³), considerando 15% de resina PU-mamona e dimensões de 40 x 40 x 1 cm. Esses dados são apresentados na Tabela 8.

Visualiza-se que painéis com densidade de $0,4 \text{ g.cm}^{-3}$ renderiam aproximadamente 4 painéis, enquanto que as demais densidades em torno de 3 painéis.

Tabela 8 – Estimativa do número de painéis produzidos com a massa total após a saída da estufa

Densidade (g.cm^{-3})	Volume (cm^3)	Massa Total (g)	Massa Painei - 85% (g)	Número de Placas
0,4	1600	640	544	4,54
0,5	1600	800	680	3,63
0,6	1600	960	816	3,03

Fonte: Própria autoria

5.1.2 Análise granulométrica

A geometria das partículas é uma das variáveis que interfere nas propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados. Segundo Haselein et al. (2002) o comprimento e a espessura afetam propriedades mecânicas (MOR e MOE), enquanto que o inchamento em espessura e a resistência ao arrancamento de parafusos são influenciados pela espessura das partículas.

Com base no exposto, foi determinada a percentagem granulométrica da massa total (8% de umidade) após a saída da estufa (2,47 kg). Nessa análise, foram obtidas seis massas granulométricas diferentes, com predominância para as partículas retidas na malha de 8 mm, o que corresponde a 80,46%. A menor quantidade foi diagnosticada para 0,3 mm, com representatividade de 0,14% (Tabela 9).

Tabela 9 – Percentagem granulométrica das partículas após a saída da estufa

Malha	Abertura (mm)	Quantidade retida (kg)	Quantidade retida (%)
5/16	8	1,991	80,46
5	4	0,205	8,29
10	2	0,224	9,05
18	1	0,044	1,80
30	0,6	0,006	0,26
50	0,3	0,003	0,14
Total		2,474	100

Fonte: Própria autoria

A Figura 38 ilustra as partículas que foram retidas nas malhas supracitadas na Tabela acima.

Figura 38 – Análise granulométrica das partículas após a saída da estufa

Fonte: Própria autoria

Brito e Peixoto (2000) avaliaram a influência da granulometria das partículas (*Pinus taeda*) nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. Os autores constataram que os painéis compostos de partículas menores (2 mm) apresentaram maior resistência à tração perpendicular, enquanto que os compostos de maiores partículas (4,37 mm), exibiram maior resistência à flexão estática e ao inchamento em espessura.

Além de influenciar as propriedades físico-mecânicas, a granulometria também afeta a condutividade térmica do material isolante. Wei et al. (2014) desenvolveram um isolante térmico à base de palha de arroz. Os autores relataram que o decréscimo no tamanho das partículas resulta no aumento da condutividade térmica. Segundo os autores, esse comportamento decorre porque a granulometria interfere na porosidade do material, ou seja, quanto menor o tamanho das partículas menor a estrutura porosa do material.

Embora a geometria das partículas afetem as propriedades supracitadas, optou-se por não separar as granulometrias em razão do baixo rendimento de partículas.

5.1.3 Densidade real das partículas

A Tabela 10 descreve o valor médio experimental da densidade de partículas do saco de cimento, madeira *pinus* e de outros resíduos agroindustriais. Observa-se que o saco de cimento exibiu maior valor para essa variável, indicando que painéis à base desse resíduo tem menor densificação. A diferença entre as densidades dos resíduos pode estar atrelada com a

própria natureza das partículas, ou seja, o arranjo organizacional, número de espaços vazios entre as fibras e número total de fibras (células) contidas nas partículas.

Tabela 10 – Densidade de partículas do saco de cimento e outros resíduos agroindustriais

Matéria-Prima	Densidade partículas (g.cm ⁻³)	Fonte
Saco de cimento	1,52	Estudo
<i>Pinus</i> spp	1,24	
Casca de Amendoim	1,37	
Bagaço de Cana	1,40	Fiorelli et al. (2014)
Fibra de coco	1,29	Curtolo (2013)

Fonte: Própria autoria

5.1.4 Análise microestrutural

A análise microestrutural de painéis de partículas é indicada para avaliar a aglomeração dos componentes e justificar os valores obtidos para as propriedades físico-mecânicas e térmicas.

Após o processo de geração das partículas foi elaborado um esquema com a utilização de imagens de Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), a fim de avaliar as partículas (Figura 39). Posteriormente ao processamento, as partículas empregadas para confecção dos painéis exibiram um conjunto de fibras formando uma estrutura em rede (Figura 39 c). Essa configuração é provavelmente devido ao processo que as indústrias de papel utilizam para fabricação do papel Kraft.

Figura 39 – Imagens de uma partícula desintegrada: a) partículas de saco de cimento. (b) conjunto de fibras em uma partícula de saco de cimento. (c) fibra em uma partícula de saco de cimento.

Fonte: Própria autoria

Baharoglu et al. (2013) avaliaram o comprimento e a largura das fibras de algumas espécie de madeira (*Pinus brutia* Ten., *Populus canadensis* moench, *Fagus orientalis* Lipsky e *Quercus cerris* L. var. *cerris*) e posteriormente as propriedades mecânicas de painéis particulados com base nessas espécies. Os autores constaram que as fibras que compõem as espécies de madeira apresentam diferenças significativas no comprimento e largura. De acordo com os pesquisadores, as diferenças nessas dimensões influenciaram as propriedades mecânicas dos painéis.

Sendo assim, foram mensuradas algumas larguras das fibras contidas em uma partícula gerada após o processamento, as quais estão representadas na Figura 40. Foi observado que as larguras das fibras apresentaram tendência de redução, após as etapas do processamento, provavelmente devido ao enrolamento sofrido pelas fibras.

Figura 40 – Indicação das larguras das fibras constituintes de uma partícula após o processamento dos sacos de cimento

Fonte: Própria autoria

5.1.5 Espectro por energia dispersiva (EDS)

Segundo Iwakiri, Keinert e Albuquerque (2005) durante a produção de painéis aglomerados de madeira é de suma importância identificar e retirar os materiais estranhos (provenientes de operações anteriores à entrada na indústria) para assegurar qualidade aos painéis e evitar desgastes dos equipamentos como picadores, serras e lixadeiras.

Os sacos que foram coletados nas obras apresentaram resquícios de cimento e outros resíduos aderidos, os quais podem ser classificados, segundo Iwakiri, Keinert e Albuquerque (2005) como materiais estranhos. Dessa maneira, com propósito de avaliar se o processo de lavagem removeu esses resíduos, efetuaram-se imagens em MEV antes e após a lavagem (Figura 41). Em ambas as imagens observam-se partículas de resíduos aderidas nas fibras dos sacos, porém com menor quantidade após o processo de lavagem. Essa análise revela que a adoção de procedimento, promoveu a retirada de grande parte das partículas de cimento, conferindo melhor qualidade para o painel produzido.

Figura 41 – MEV de partículas de saco de cimento: (a) antes da lavagem. (b) após a lavagem

Fonte: Própria autoria

A fim de identificar os elementos químicos do material aderido nas partículas de saco de cimento Figura 41 (a) e (b), foi efetuada uma análise de espectro por energia dispersiva (EDS). Nessa análise foi constatada a presença de ferro, alumínio, sílica e magnésio, elementos químicos presentes na composição do cimento (Figura 42). Infere-se que as partículas de cimento possam ter efeito adverso durante a fase de cura da resina, o que influenciaria negativamente na ligação de hidrogênio entre a resina e as fibras. Além disso, a presença desse material pode provocar o desgaste das máquinas utilizadas durante o processo de geração de partículas e produção dos painéis experimentais.

Figura 42 – Análise de espectro por energia dispersiva de partículas de saco de cimento

Fonte: Própria autoria

5.1.6 Composição química

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 11 apresenta a composição química das partículas dos sacos de cimento, de madeira utilizada pelas indústrias de processamento de painéis e de resíduos agroindustriais.

Tabela 11 – Composição química do saco de cimento, madeira e resíduos agroindustriais

Resíduos	Celulose (%)	Hemiceluloses (%)	Lignina (%)	Cinzas (%)	Fonte
Saco de Cimento	80,13	9,60	2,91	5,54	Estudo
<i>Eucalyptus urophylla</i>	52,00	19,04	28,60	-----	Magaton et al. (2006)
<i>Eucalyptus grandis</i>	51,70	20,50	27,80	-----	
<i>Pinus spp</i>	51,13	15,10	27,29	-----	
Fibra de Coco	56,69	16,64	25,11	-----	Fiorelli et al. (2014)
Bagaço de Cana	50,47	30,56	10,74	-----	
Casca Amendoim	42,5	26,3	28	-----	Guler, Çöpür e Tascioglu (2007)
Casca Avelã	34,5	20,6	35,1	8,22	Çöpür, Guler e Tascioglu (2007)
Casca Nozes	25,4	21,2	49,1	3,6	Pirayesh, Khazaeian e Tabarsa (2012)

Fonte: Própria autoria

O saco de cimento apresentou maior teor de celulose e menor teor de lignina em comparação as madeiras (*Pinus* e *Eucalypto*) e aos resíduos agrícolas (Tabela 11). A madeira (*Eucalyptus ssp* e *Pinus ssp*) é uma matéria-prima constituída por fibras, as quais estão unidas entre si através das forças interfibrilares e pela lignina. Para separação das fibras, a polpação Kraft ou sulfato, é um dos métodos empregados pelas industriais para obtenção da celulose. Nesse processo, o hidróxido de sódio (NaOH) e o sulfeto de sódio (Na₂S) são os reagentes químicos utilizados para deslignificação e separação das fibras (ASSUMPÇÃO et al., 1988). Portanto, essa é a hipótese para explicar o baixo teor de lignina e alto teor de celulose nas partículas de saco de cimento.

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 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).

A celulose é o principal polissacarídeo que compõem a parede celular das fibras. Esse composto é formado por unidades de β -D-glicose, que se ligam através do carbono 1 e 4. As moléculas de celulose através de ligações de hidrogênio se unem a outras moléculas de celulose adjacentes, levando a formação da fibra vegetal. 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. Esse fenômeno decorre devido à presença de um grande número de grupos hidroxilas (OH⁻) polares, que por meio da ligação de hidrogênio, se aderem com a resina polar. As interações das ligações de hidrogênio desempenham um papel relevante na superfície de umectação e absorção da resina na estrutura molecular da madeira (AYRILMIS et al., 2009; AYDIN, 2004).

Esses grupos hidroxilas da celulose não só ligam com a resina polar, mas também estão aptas a ligarem com as moléculas de água através de ligações de hidrogênio (Figura 43) (GWON et al., 2010). Segundo D' Almeida (1988) o intumescimento da celulose em água

ocorre nas regiões intercristalinas e intracristalinas, sendo que o maior intumescimento acontece nas partes intercristalinas.

Figura 43 – Moléculas de celulose reunidas em feixes que formam microfibrilas. Os grupos –OH formam ligações de hidrogênio com os grupos –OH das cadeias vizinhas

Fonte: ADAPTADO (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007).

Com relação ao teor de hemiceluloses, o saco de cimento exibiu valores inferiores aos aferidos para a madeira e resíduos agroindustriais. A estrutura química desse polissacarídeo é semelhante ao da celulose (Figura 44). 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).

Figura 44 – Molécula de celulose e hemicelulose

Fonte: ADAPTADO (FERNANDO SANTOS et al., 2012)

Para a variável cinza, o saco de cimento revelou teor intermediário (5,54%) quando comparado à casca de avelã e nozes. Esse alto valor constatado pode estar atrelado devido à presença de partículas de cimento que não foram removidas durante o processo de lavagem, conforme salientado na análise de EDS.

Os teores de cinzas presentes nos resíduos agroindustriais influenciam no desempenho de adesão interna dos painéis de partículas, uma vez que a presença desse material afeta as interações químicas entre partículas e resina (PIRAYESH; KHAZAEIAN; TABARSA, 2012).

5.1.7 Considerações parciais da fase 1

O processo empregado para geração das partículas a partir dos sacos de cimento (15 sacos) rendeu um total de 2,47 kg, com 8% de umidade. A geometria das partículas contidas nessa massa apresentou variação, sendo constatada predominância para partículas retidas em malha de 5/16 (8 mm).

A densidade real média das partículas foi de $1,52 \text{ g.cm}^{-3}$, valor superior ao de algumas espécies de madeira e de outros resíduos agroindustriais.

A análise microestrutural revelou que as fibras contidas nas partículas apresentaram mudanças em sua conformação, resultando na alteração da largura das fibras. Com relação à

análise de EDS, foi identificado que o processo de lavagem removeu grande parte do cimento aderido nas fibras.

Pela análise química foi constatado altos teores de celulose e hemiceluloses, com predominância do primeiro polissacarídeo. Além desses compostos químicos, as partículas também exibiram quantidades inferiores de lignina e cinzas.

5.2 Segunda fase – Avaliação da densidade e nível de resina

Esse item relata o desempenho de painéis de partículas à base de saco de cimento variando a densidade (0,4, 0,5 e 0,6 g.cm⁻³) e o teor de resina (12 e 15%). Os tópicos abordados serão:

- Análise microestrutural dos painéis de partículas;
- Análise de pressuposição para ANOVA;
- Propriedades Físicas (Densidade aparente, Absorção e Inchamento);
- Propriedades Mecânicas (Módulo de ruptura e Módulo elástico);
- Propriedades Térmicas (Condutividade térmica, Resistência térmica e Fator solar);
- Seleção da densidade e nível de resina;
- Considerações parciais da fase 2.

5.2.1 Análise microestrutural dos painéis de partículas

A análise microestrutural de painéis de partículas é qualitativa e indicada para avaliar a aglomeração dos componentes e justificar os valores obtidos para as propriedades físicas, mecânicas e térmicas.

Tangjuank e Kumfu (2011) empregaram esse recurso para explicar o aumento na densidade dos painéis de fibra de papiro em relação aos níveis de resina. Além disso, possibilitou a discussão das variáveis, tais como, absorção, inchamento e condutividade térmica.

Sendo assim, foram realizadas imagens dos painéis com teor de resina 15% em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) (15% de resina) (Figura 45). Visualiza-se que o

painel com densidade de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ apresentou porosidade inferior aos demais. Além disso, é possível observar que o painel com maior densidade apresentou maior densificação das fibras. Essas imagens auxiliaram na interpretação dos resultados das propriedades físicas, mecânicas e térmicas, apresentadas e discutidas posteriormente.

Figura 45 – Imagens de MEV: (a) painel com $0,4 \text{ g.cm}^{-3}$. (b) painel com $0,5 \text{ g.cm}^{-3}$. (c) painel com $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$

Fonte: Própria autoria

5.2.2 Análise pressuposição ANOVA

Para executar a ANOVA dos dados experimentais é necessário que antes se verifique a homogeneidade e a normalidade dos erros experimentais (NOGUEIRA, 2007). Dessa forma, a Tabela 12 descreve os p-valores dos testes de normalidade (Shapiro Wilk) e homogeneidade (Bartlett) das propriedades estudadas. Observa-se que os erros das variáveis experimentais exibiram P-valores acima de $p < 0,05$ para ambos os testes, o que caracteriza os resíduos como normais e homogêneos.

Tabela 12 – Pressuposição da ANOVA – Normalidade e Homogeneidade

Variáveis	Normalidade (Shapiro Wilk)	Homocedasticidade (Bartlett)
Densidade Aparente	0,8366 ^{NS}	0,1016 ^{NS}
Absorção de Água	0,9363 ^{NS}	0,2860 ^{NS}
Inchamento em Espessura	0,3793 ^{NS}	0,5497 ^{NS}
Módulo de Ruptura*	0,1473 ^{NS}	0,1997 ^{NS}
Módulo Elástico*	0,7796 ^{NS}	0,1051 ^{NS}
Condutividade térmica	0,4811 ^{NS}	0,2146 ^{NS}
Resistência térmica	0,2884 ^{NS}	0,0940 ^{NS}
Fator solar	0,2866 ^{NS}	0,1160 ^{NS}

*Necessário à retirada de outlier e usar a transformação $\sqrt{y}$

^{NS} Não significativo a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

Para as propriedades mecânicas (módulo de ruptura e elástico), foi necessário à remoção dos *outliers* e a transformação dos dados originais, pois dessa forma os erros experimentais apresentaram normalidade e homocedasticidade das variâncias. De acordo com Nogueira (2007), quando os dados originais não atenderem as pressuposições para ANOVA, utiliza-se de funções construídas de tal modo, que as pressuposições sejam atendidas por essas funções. Essas funções são conhecidas como funções de transformação de dados. Assim, os dados originais foram transformados empregando a técnica $\sqrt{y}$.

5.2.3 Propriedades físicas

As propriedades físicas aferidas para os painéis de partículas de saco de cimento foram densidade aparente, absorção de água e inchamento em espessura.

5.2.3.1 Análise descritiva

O resumo dos dados experimentais das propriedades físicas (densidade aparente, absorção de água e inchamento em espessura) estão descritas na Tabela 13. Os painéis com três níveis de densidade (0,4, 0,5 e 0,6 g.cm⁻³), dois níveis de resina (12 e 15%) e seis níveis para horas (4, 8, 12, 16, 20 e 24 horas) apresentaram densidade média de 0,503 g.cm⁻³, absorção de água média de 54,71% e inchamento em espessura médio de 10,02%.

Tabela 13 – Análise descritiva das propriedades físicas

Variável	N*	Média	CV (%)**	Máx	Min
Densidade aparente (g cm ⁻³)	70	0,503	18,52	0,356	0,710
Absorção de água (%)	180	54,71	18,49	30,93	75,16
Inchamento em espessura (%)	180	10,02	43,40	1,10	20,77

*Número de unidades experimentais

**Coeficiente de variação

Fonte: Própria autoria

Quanto à dispersão dos dados, nota-se que o inchamento em espessura apresentou maior variação, enquanto que as demais propriedades exibiram valores semelhantes. Esse comportamento pode ter ocorrido devido à heterogeneidade das partículas retromencionadas no item caracterização da matéria-prima. Além desses fatores, a variação de umidade e a falta de homogeneidade na distribuição das partículas durante a formação do colchão, podem também ter contribuído com a dispersão das variáveis (MELO et al. 2009).

5.2.3.2 Análise inferencial

Após a análise de pressuposição e descritiva foi executada a ANOVA para as propriedades físicas dos painéis de partículas, a fim de averiguar se os fatores estudados influenciam significativamente no desempenho dessas propriedades. Dessa maneira, a Tabela 14 descreve o resultado da ANOVA para as propriedades físicas.

Tabela 14 – Análise ANOVA das propriedades físicas (p-valores)

Fonte de variação / Variável	Densidade aparente	Absorção de água	Inchamento em espessura
Densidade	<2e-16***	1,039e-08***	<2,2e-16***
Resina	0,2006 ^{NS}	0,6119 ^{NS}	0,0003003***
Horas	-----	<2,2e-16***	1,101e-08***
Densidade*Resina	0,6018 ^{NS}	7,661e-66***	0,0018094**
Densidade*Horas	-----	0,11376 ^{NS}	0,1545163 ^{NS}
Resina*Horas	-----	0,02191*	0,4688481 ^{NS}
Densidade*Resina*Horas	-----	0,35383 ^{NS}	0,5550359 ^{NS}

*Significativo a p<0,05

^{NS} Não significativo a p<0,05

Fonte: Própria autoria

A densidade é uma propriedade física que influencia significativamente o módulo de ruptura, módulo elástico e a condutividade térmica dos painéis de partículas (IWAKIRI et al.

2008; GUNTEKIN; KARAKUS, 2008; MELO; MENEZZI, 2010; TANGJUANK; KUMFU, 2011). Portanto, para assegurar confiabilidade nas análises mecânicas, físicas e térmicas foi elaborada uma análise inferencial da densidade aparente para os painéis com teor de resina de 12 e 15%, com o intuito de averiguar se as densidades estudadas foram significativamente diferentes.

Para a densidade aparente, a ANOVA revelou significância ($p < 0,05$) somente para o fator densidade (Tabela 14). Ao comparar as médias desse fator foi atestada diferença significativa ($p < 0,05$) para todos os tratamentos. Assim, esse resultado garante estatisticamente maior confiabilidade para analisar as demais propriedades (Tabela 15).

Tabela 15 – Teste de Tukey para densidade aparente

Densidade nominal (g.cm⁻³) / Resina (%)	12	15	Média Geral
0,40	0,40 ± 0,0251	0,40 ± 0,0322	0,40 ± 0,0969 A
0,50	0,50 ± 0,0224	0,50 ± 0,0240	0,50 ± 0,0886 B
0,60	0,62 ± 0,0481	0,60 ± 0,0343	0,61 ± 0,1002 C
Média Geral	0,51 ± 0,0964	0,49 ± 0,0896	

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem pelo Teste Tukey a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

Quanto à absorção de água dos painéis, a ANOVA revelou que essa propriedade é governada pela interação dos fatores estudados, ou seja, foi constatado efeito significativo ($p < 0,05$) para as interações entre Densidade*Resina e Resina*Horas, conforme elucidado na Tabela 14.

Ao desmembrar a interação entre Densidade*Resina, o teste de Tukey informou que os valores de absorção de água dos painéis com 0,4 e 0,5 g.cm⁻³ não assumem significância quanto à redução de 3% do nível de resina. Por outro lado, nos painéis com densidade de 0,6 g.cm⁻³ o teste exibiu diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias dos tratamentos, sendo registrado menor valor para os painéis com o teor de 15% de resina. Assim, na densidade de 0,6 g.cm⁻³, o teor de 15% de resina reduziu significativamente a absorção de água em 13,83% (Tabela 16).

Tabela 16 – Valores médios dos tratamentos para propriedade absorção de água

Densidade (g cm⁻³) / Resina (%)	12	15	Média Geral
0,4	57,40 ± 9,06 A	60,21 ± 9,66 A	58,81 ± 10,25
0,5	52,69 ± 9,03 A	55,94 ± 10,68 A	54,32 ± 10,29
0,6	54,79 ± 8,65 A	47,21 ± 9,13 B	51,00 ± 10,55
Média geral	54,96 ± 9,02	54,46 ± 11,15	

Médias seguidas por letras maiúscula diferentes na linha diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey

Fonte: Própria autoria

Tangjuank e Kumfu (2011) relataram utilizando imagens de microscopia eletrônica de varredura que o aumento no teor de resina de painéis à base de fibra de papiro, acarreta na redução na porosidade devido à resina preencher nesses espaços. Conforme relatado anteriormente no item análise microestrutural, os painéis apresentaram qualitativamente um arranjo desigual para os espaços vazios, em que a densidade de 0,4 g.cm⁻³ exibiu maior porosidade em comparação aos painéis com densidade de 0,5 e 0,6 g.cm⁻³.

Assim, fundamentado nessa hipótese, infere-se que a variação na quantidade de resina não foi suficiente para interferir sobre a estrutura dos vazios nos painéis com densidade de 0,4 e 0,5 g.cm⁻³, não alterando significativamente a absorção de água nesses tratamentos. Entretanto, os painéis de 0,6 g.cm⁻³, por apresentarem menor porosidade, permite inferir que a redução de 3% no teor de resina, tenha alterado a estrutura de vazios e concomitantemente, provocado o aumento significativo na absorção de água. Esse raciocínio pode ser sustentado com base na afirmação de Melo e Menezzi (2010), que segundo os autores, a absorção de água nos painéis de partículas ocorre através dos volumes de vazios do interior do material.

Segundo Al-Homoud (2005), o teor de umidade é o principal fator que afeta a condutividade térmica nos materiais isolantes. Nesses materiais, os espaços vazios são preenchidos com ar (baixa condutividade térmica) e ao absorver umidade do ambiente o ar passa a ser substituído pela água (maior condutividade térmica). Assim, quanto maior o conteúdo de água no material, maior será sua condutividade térmica e pior seu desempenho térmico.

Nas instalações avícolas, a umidade relativa é controlada entre 40-70%, a fim de proporcionar melhor conforto térmico para frangos de corte (TINÔCO, 2001). Dessa maneira, a aplicação do material em estudo como forro, acarretaria em uma absorção de água do ambiente, afetando seu desempenho térmico. Dentre as densidades avaliadas, a redução de 3% na quantidade de resina no painel de 0,6 g.cm⁻³ seria prejudicial ao material, perante sua

proposta de aplicação, pois, aumentaria a absorção de água e, conseqüentemente, o fluxo de calor para o interior do aviário.

A Figura 46 sumariza o comportamento da absorção de água em função da densidade para cada nível de resina (12 e 15%). Observa-se que para o nível de 15%, a absorção de água apresentou efeito linear ($p < 0,05$) decrescente, sendo registrado um decréscimo de 21,59% ao elevar a densidade de $0,4 \text{ g.cm}^{-3}$ para $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$. Essa conduta também foi averiguada por Khedari, Charoenvai e Hirunlabh (2003), Tangjuank (2011) e Tangjuank e Kumfu (2011). Portanto, baseado nessa propriedade física, a densidade de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ apresenta maior potencial para ser aplicada na produção de painéis de partículas para forro de aviários.

Figura 46 – Valores de absorção de água dos painéis com teor de resina de 12 e 15% em função da densidade

Fonte: Própria autoria

Com relação à interação Resina*Horas, o teste de Tukey identificou diferença significativa ($p < 0,05$) para absorção de água no período referente às 4 horas, sendo registrada para esse período, redução equivalente a 12,65% em painéis fabricados com 15% de resina (Tabela 17). No entanto, com o passar das horas, a absorção de água entre os níveis de resina se igualaram estatisticamente, comportamento esse que pode ter ocorrido devido o nível de 12% ter absorvido maior quantidade de água às 4 horas, equalizando assim, a absorção de água nos horários posteriores.

Conforme discutido anteriormente, painéis com densidade de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ e teor de resina de 15% apresentam menor absorção de água, em relação aos painéis com densidade $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ e teor de resina de 12%. Entretanto, com base na Tabela 17, essa eficiência só ocorreu no

período das 4 horas. Essa análise revela que a redução de 3% na quantidade de resina, para painéis com densidade de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ é uma opção para reduzir o custo do material.

Tabela 17 – Valores médios experimentais dos tratamentos para propriedade absorção de água

Resina (%) / Horas (h)	4	8	12	16	20	24	Média Geral
12	47,58 ± 9,41 A	50,72 ± 9,64 A	53,14 ± 9,57 A	58,20 ± 9,85 A	57,31 ± 9,46 A	62,81 ± 9,45 A	54,96 ± 9,02
15	41,56 ± 11,84 B	47,41 ± 12,22 A	56,54 ± 12,46 A	55,64 ± 12,10 A	60,79 ± 11,92 A	64,80 ± 11,29 A	54,45 ± 11,15
Média geral	44,57 ± 10,28	49,07 ± 10,49	54,84 ± 10,55	56,92 ± 10,56	59,05 ± 10,51	63,80 ± 10,44	

Médias seguidas por letras maiúscula diferentes na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey

Fonte: Própria autoria

Ao desmembrar a interação (Resina*Horas), do fator Horas em cada nível de resina, foi diagnosticado para ambos os níveis (12 e 15%) que a absorção de água em função das horas é explicada pelo comportamento linear crescente, pois foi constatado coeficiente de determinação (R^2) de 94,95 e 93,59% para painéis fabricados com 12 e 15% de resina, respectivamente (Figura 47).

Segundo Khazaeian, Ashori e Dizaj (2015) as fibras lignocelulósicas por apresentarem em abundância grupos hidroxilas são consideradas altamente hidrofílicas. Além disso, numerosos poros tubulares na estrutura dessas fibras aceleram a penetração de água. Portanto, à medida que o tempo passa, as moléculas de água penetram pelos poros e pela parede celular (celulose e as hemiceluloses) das fibras, resultando no aumento da absorção de água dos painéis.

Independente da densidade avaliada, para ambos os teores de resina, o material apresentou aumento na absorção de água durante o período entre 4 e 24 horas. Para ambientes úmidos, tais como instalações avícolas, esse comportamento demonstra que o desempenho térmico do material seria comprometido, principalmente durante o período de funcionamento dos nebulizadores.

Figura 47 – Valores de absorção de água dos painéis com 12 e 15% de resina em função das horas

Fonte: Própria autoria

A análise da ANOVA revelou que na propriedade inchamento em espessura os fatores (Densidade e Resina) atuam de forma dependente, pois para essa propriedade foi registrada significância ($p < 0,05$) para interação Densidade*Horas (Tabela 14).

A fim de identificar o efeito do fator Resina dentro dos níveis do fator Densidade foi efetuado o teste de Tukey, o qual está esboçado na Tabela 18. Visualiza-se que as os valores médios dos painéis com densidade de $0,4$ e $0,5 \text{ g.cm}^{-3}$ não exibiram diferença significativa entre os níveis de resina. Entretanto, para os painéis com densidade de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$, nota-se que o valor médio de 15% de resina foi estatisticamente inferior ($p < 0,05$) ao de 12%, ou seja, os painéis com 15% tiveram uma redução de 27,52% para essa propriedade.

Segundo Ayrilmis et al. (2009) a celulose e a hemicelulose são polímeros que contêm grande número de grupos hidroxilas (OH) polares e são predominantemente responsáveis pela ligação de hidrogênio com as resinas polares. Além disso, a absorção de água nos materiais lignocelulósicos pode estar atribuída à ligação de hidrogênio entre as moléculas de água com os grupos hidroxilas (OH) livres presentes na celulose e hemicelulose (NOURBAKHSH; FARHANI BAGHLANI; ASHORI, 2011).

Assim, com base nas informações supracitadas, infere-se que os painéis com $0,4$ e $0,5 \text{ g.cm}^{-3}$ possam ter apresentado poucos grupos hidroxilas (OH) livres para ligação com as moléculas de água, ou seja, o decréscimo de 3% do teor de resina pode não ter aumentado significativamente os grupos de hidroxilas (OH) livres para que ocorresse o inchamento da fibra. Por outro lado, para os painéis com $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$, por apresentarem maiores quantidades de partículas que as demais densidades estudadas, a variação de 3% no nível de resina possa

ter aumentado o número de hidroxilas (OH) livres na celulose e hemicelulose, resultando na diferença significativa no inchamento.

Tabela 18 – Valores médios dos tratamentos para propriedade inchamento em espessura

Densidade (g cm⁻³) / Resina (%)	12	15	Média Geral
0,4	6,94 ± 2,90 A	6,75 ± 3,15 A	6,840 ± 4,71
0,5	11,06 ± 3,65 A	10,06 ± 2,78 A	10,56 ± 4,39
0,6	14,57 ± 4,49 A	10,56 ± 4,15 B	12,56 ± 4,49
Média geral	10,86 ± 4,71	9,12 ± 3,79	

Médias seguidas por letras maiúscula diferentes na linha diferem significativamente a 5% pelo Teste de Tukey

Fonte: Própria autoria

Ao analisar o efeito da densidade em cada nível (12 e 15%) do fator resina foi diagnosticado efeito linear ($p < 0,05$) para ambos os níveis de resina, sendo registrado um coeficiente de determinação (R^2) de 99,78 e 82,14% para 12 e 15%, respectivamente (Figura 48). Esse resultado demonstra que o aumento na densidade dos painéis eleva significativamente o inchamento em espessura. Esse mesmo efeito também foi relato por Khedari, Charoenvai e Hirunlabh (2003) e Çöpür, Guler e Tascioglu (2007).

De acordo com Melo e Menezzi (2010) diversos parâmetros influenciam na estabilidade dimensional dos painéis aglomerados, tais como: razão de compactação, liberação de tensões geradas na prensagem, variáveis relacionadas ao ciclo de prensagem, quantidade e qualidade dos aditivos, dentre outros. Assim, o aumento no inchamento em espessura dos painéis em estudo devido à elevação da densidade, pode estar atrelado à liberação de tensões geradas durante o ciclo de prensagem dos painéis.

Figura 48 – Valores de inchamento em espessura dos painéis com 12 e 15% de resina em função das densidades

Fonte: Própria autoria

5.2.4 Propriedades mecânicas

Os resultados experimentais para as propriedades mecânicas foram: módulo de ruptura (MOR) e módulo elástico (MOE).

5.2.4.1 Análise descritiva

O MOR é a resistência do material no ensaio de flexão estática e o MOE é a rigidez (capacidade do material se deformar) na fase elástica.

Os painéis apresentaram valores médios de MOR igual a 2,51 MPa e de MOE 262,36 MPa (Tabela 19). Com relação à dispersão, essas propriedades apresentaram valores semelhantes. Segundo Hanselein et al (2002), às dimensões das partículas influenciam significativamente no MOR e MOE de painéis particulados à base de *Pinus elliottii*. Sendo assim, acredita-se que a granulometria das partículas (ver no item 5.1.2 análise granulométrica) utilizadas para produção dos painéis possa ter influenciado na dispersão dessas variáveis.

Tabela 19 – Análise descritiva das variáveis mecânicas

Variável	N*	Média	CV (%)**	Máx	Min
MOR (MPa)	78	2,51	55,87	5,56	0,61
MOE (MPa)	78	262,36	54,66	594	57,6

*Número de unidades experimentais

**Coeficiente de variação

Fonte: Própria autoria

5.2.4.2 Análise inferencial

Conforme relatado anteriormente na análise da pressuposição da ANOVA, foi necessária aplicar a transformação dos dados para as propriedades mecânicas. Assim, os dados inferenciais dos tratamentos foram descritos considerando a transformação $\sqrt{y}$. Dessa forma, a Tabela 20 descreve os resultados da ANOVA para o MOR e o MOE.

Tabela 20 – Análise ANOVA das propriedades mecânicas (P-valores)

Fonte de variação / Variável	MOR	MOE
Densidade	<2,2e-16***	<2,01e-16***
Resina	4,628e-08***	1,296e-10***
Densidade*Resina	0,2548 ^{NS}	0,8754 ^{NS}

*Significativo a $p < 0,05$ ^{NS} Não significativo a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

Pela análise da ANOVA foi constatado que os fatores (Densidade e Resina) atuam de forma independente no desempenho das propriedades mecânicas (MOR e MOE), pois foi identificado significância ($p < 0,05$) somente para os efeitos principais (Tabela 20).

Para o desempenho das propriedades mecânicas a análise inferencial revelou que os painéis fabricados com 15% de resina apresentaram valores superiores ($p < 0,05$) aos fabricados com 12% de resina (Tabela 21). Esse resultado demonstra que o decréscimo de 3% na quantidade de resina, reduz significativamente em 13,93 e 14,86% o MOR e o MOE, respectivamente.

Tabela 21 – Valores médios dos tratamentos para as propriedades mecânicas

Módulo de Ruptura – MOR			
Densidade (g.cm⁻³) / Resina (%)	12	15	Média Geral
0,4	0,87 ± 0,086	1,13 ± 0,173	1,00 ± 0,424
0,5	1,46 ± 0,187	1,75 ± 0,189	1,60 ± 0,363
0,6	1,94 ± 0,381	2,07 ± 0,256	2,00 ± 0,424
Média geral	1,42 ± 0,470 A	1,65 ± 0,428 B	
Módulo de Elasticidade – MOE			
Densidade (g.cm⁻³) / Resina (%)	12	15	Média Geral
0,4	9,14 ± 0,863	11,44 ± 1,597	10,29 ± 3,888
0,5	14,80 ± 1,970	17,51 ± 1,046	16,15 ± 3,339
0,6	19,19 ± 3,234	21,69 ± 1,491	20,44 ± 4,222
Média geral	14,37 ± 4,288 A	16,88 ± 4,470 B	

Médias seguidas por letras maiúscula diferentes na linha diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey. Dados transformados pela função $\sqrt{y}$.

Fonte: Própria autoria

Os polímeros, celulose e hemiceluloses, presentes na parede celular das fibras de madeira apresentam em sua estrutura química grupos hidroxilas, que são responsáveis pela adesão com os adesivos polares utilizados na fabricação dos painéis particulados de madeira (AYRILMIS et al., 2009). Essas ligações interfaciais formadas no material compósito são um dos fatores responsáveis em fornecer resistência a esses materiais, uma vez que o estresse é transferido de partícula para partícula através da matriz polimérica (NDAZI; TESHA; BISANDA, 2006).

Segundo Ndazi, Tesha e Bisanda (2006) a quantidade de ligações adesivas formadas no compósito depende da quantidade, viscosidade, fluidez e pH da resina, superfície de umectação e compatibilidade química entre partícula e resina. Com base nessa afirmação, infere-se que os painéis com 12% de resina apresentaram menores quantidades de ligações entre as partículas de saco de cimento com as moléculas da resina, resultando dessa forma, na redução da capacidade em transferir às tensões as demais partículas do painel e concomitantemente, prejudicando seu desempenho mecânico.

A fim de estudar o efeito da densidade no comportamento do MOR e MOE foram geradas equações de regressão (Figura 49). Nota-se que para ambas as propriedades, foram diagnosticados efeitos lineares significativos ($p < 0,05$) com (R^2) de 98,75 para MOR e 99,54% para MOE. Outras pesquisas sobre painéis de partículas à base de madeira também constataram efeito linear da densidade sobre o desempenho dessas propriedades (MELO e MENEZZI, 2010; IWAKIRI et al., 2008).

Figura 49 – Valores das propriedades mecânicas em função das densidades: (a) MOR. (b) MOE. Dados transformados pela função $\sqrt{y}$

Fonte: Própria autoria

A elevação da densidade nos painéis particulados promove aumento das propriedades mecânicas. Um dos fatores que influenciam nessa resposta está atribuído ao ciclo de prensagem, pois durante essa fase, ocorre um maior contato entre as partículas, o que proporciona melhoras na transferência da resina entre partícula-partícula (WEI et al., 2015; KEDARI; CHAROENVAI; HIRUNLABH, 2003). Dessa maneira, ao aumentar a densidade dos painéis, a distância entre as partículas passaram a serem menores durante a prensagem e consequentemente as ligações entre as partículas tornaram mais eficientes, traduzindo assim em maior desempenho do MOR.

Além disso, os componentes das paredes celulares das partículas de madeira são responsáveis em governar as propriedades físicas e mecânicas. Enquanto que a celulose proporciona resistência e a lignina age como matriz nas fibras de madeira (NDAZI; TESHAI; BISANDA, 2006; FENGEL e WEGENER, 1984). Conforme relatado na análise química, os

sacos de cimento apresentaram 80,13 de celulose e 2,19% de lignina. Sendo assim, os painéis com densidade de 0.6 g.cm^{-3} , por conterem maior quantidade de partículas, possuem maiores quantidades de celulose e lignina, o que explica o as propriedades mecânicas superiores em relação aos painéis de menor densidade.

5.2.5 Propriedades térmicas

Os resultados experimentais para as propriedades térmicas foram: condutividade térmica, resistência térmica e fator solar.

5.2.5.1 Análise descritiva

Os dados experimentais descritivos das propriedades térmicas são apresentados na Tabela 22. De maneira geral, observa-se que os painéis apresentaram valor médio de $0,143 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ para condutividade térmica, $0,067 \text{ m}^2\text{K W}^{-1}$ para resistência térmica e 2,39% para fator solar. Quanto à dispersão dos dados, visualiza-se que todas as propriedades térmicas exibiram baixos valores de dispersão.

Tabela 22 – Análise descritiva das propriedades térmicas

Variável	N*	Média	CV (%)**	Máx	Min
Condutividade térmica ($\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$)	30	0,143	9,45	0,170	0,119
Resistência térmica ($\text{m}^2\text{K W}^{-1}$)	30	0,067	6,29	0,077	0,059
Fator solar (%)	30	2,399	0,85	2,438	2,356

*Número de unidades experimentais

**Coeficiente de variação

Fonte: Própria autoria

5.2.5.2 Análise inferencial

A Tabela 23 descreve os resultados da ANOVA para as propriedades térmicas. Visualiza-se que os fatores estudados atuam de forma dependente na condutividade térmica, pois foi registrado significância ($p < 0,05$) na interação entre os fatores. Entretanto, para a resistência térmica e o fator solar, foi diagnosticado que os fatores influenciam de forma independente, pois para essas propriedades, foi identificada diferença significativa ($p < 0,05$) para os efeitos principais.

Tabela 23 – Análise ANOVA das propriedades térmicas (P-valores)

Fonte de variação / Variável	Condutividade térmica	Resistência térmica	Fator Solar
Densidade	5,046e-12***	1,758e-11***	1,056e-12***
Resina	0,001963***	0,0015***	0,0018***
Densidade*Resina	0,003658***	0,3291 ^{NS}	0,3406 ^{NS}

*Significativo a $p < 0,05$ ^{NS} Não significativo a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

Ao desmembrar o fator resina dentro do fator densidade para a condutividade térmica, foi constatado que os valores médios dos painéis com densidade de 0,4 e 0,6 g.cm⁻³ apresentaram significância ($p < 0,05$) com a variação na quantidade de resina, enquanto que na densidade de 0,5 g.cm⁻³ não foi diagnosticado diferença. Para os painéis com densidade de 0,4 e 0,6 g.cm⁻³, a redução de 3% na quantidade de resina decresceu a condutividade térmica em 4,58 e 6,09%, respectivamente (Tabela 24).

Tabela 24 – Valores médios dos tratamentos para condutividade térmica

Densidade (g cm ⁻³) / Resina (%)	12	15	Média Geral
0,4	0,125 ± 0,006 A	0,131 ± 0,003 B	0,128 ± 0,010
0,5	0,143 ± 0,001 A	0,141 ± 0,004 A	0,142 ± 0,008
0,6	0,154 ± 0,006 A	0,164 ± 0,003 B	0,157 ± 0,008
Média geral	0,139 ± 0,011	0,145 ± 0,014	

Médias seguidas por letras maiúscula diferentes na linha diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey.

Fonte: Própria autoria

Nos isolantes térmicos, o fluxo de calor no interior do material ocorre na substância sólida (partículas do material) e nos espaços vazios (preenchidos por ar) contidos no interior do material. O ar que ocupa esses espaços apresenta condutividade térmica menor que a substância sólida, e por essa razão o fluxo de calor nos materiais isolantes é menor quando comparado aos materiais não isolantes (TANGJUANK e KUMFU, 2011).

A cura da resina nos espaços vazios do material é uma hipótese que pode explicar o fenômeno descrito para condutividade térmica. Assim, a variação de 3% na quantidade de resina pode ter influenciado na estrutura dos vazios do material, culminando na diferença significativa nos painéis com densidades de 0,4 e 0,6 g.cm⁻³. Entretanto, para os painéis com 0,5 g.cm⁻³, acredita-se que a amostragem casual possa não ter sido eficiente, pois era esperado o mesmo resultado apresentado pelas outras densidades.

Para ambos os níveis de resina foi constatado efeito linear crescente ($p < 0,05$) para condutividade térmica em função das densidades experimentais. Os painéis com $0,4 \text{ g.cm}^{-3}$ apresentaram decréscimo na condutividade térmica em torno de 18,31 e 20,12% para o teor de 12 e 15%, respectivamente, quando comparados aos painéis com $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$. Esse comportamento descreve que a variação da densidade tem maior influência na condutividade térmica quando comparada com a variação na quantidade de resina (Figura 50).

Figura 50 – Valores de condutividade térmica dos painéis em função das densidades

Fonte: Própria autoria

O aumento na densidade dos materiais isolantes eleva a quantidade de substância sólida no material e consequentemente, a quantidade de espaços vazios são reduzidos. Assim, pelo fato das substâncias sólidas possuírem condutividade térmica superior ao ar, o aumento na densidade eleva a condutividade do material (WEI et al., 2014).

A análise microestrutural revelou que o aumento na densidade dos painéis reduziu a porosidade do material. Esse mesmo comportamento também foi registrado por Kedari, Charoenvai e Hirunlabh (2003) e Zhou et al. (2010).

Segundo Wang (1988), materiais que apresentem condutividade térmica menor que $0,25 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ são geralmente considerados isolantes térmicos. Nota-se na Figura 50, que os valores de condutividade térmica dos painéis ficaram abaixo do valor preconizado pelo autor. Dessa forma, todos os tratamentos podem ser classificados como isolantes térmicos.

A Tabela 25 sumariza os valores médios dos tratamentos para resistência térmica e fator solar. Observa-se que o nível de 15% reduziu significativamente em 4,74% a resistência térmica dos painéis, enquanto que para o fator solar, esse nível de resina aumentou essa propriedade em 0,41%.

Segundo Al-Homoud (2005) o ar aprisionado no interior do isolante é o responsável por fornecer resistência térmica ao material, uma vez que esse possui baixa condutividade térmica. Assim, a cura da resina nos espaços vazios, é a conjectura para explicar a queda na resistência térmica e o aumento do fator solar.

Tabela 24 – Valores médios dos tratamentos das propriedades térmicas

Resistência Térmica			
Densidade (g.cm⁻³) / Resina (%)	12	15	Média Geral
0,4	0,0740 ± 0,002	0,0688 ± 0,002	0,0714 ± 0,004
0,5	0,0696 ± 0,003	0,0670 ± 0,001	0,0683 ± 0,002
0,6	0,0646 ± 0,002	0,0629 ± 0,002	0,0639 ± 0,003
Média geral	0,0695 ± 0,004 A	0,0662 ± 0,003 B	
Fator Solar - FS₀			
Densidade (g.cm⁻³) / Resina (%)	12	15	Média Geral
0,4	2,37 ± 0,012	2,39 ± 0,013	2,38 ± 0,020
0,5	2,39 ± 0,014	2,40 ± 0,006	2,39 ± 0,014
0,6	2,41 ± 0,013	2,42 ± 0,009	2,41 ± 0,014
Média geral	2,39 ± 0,022 A	2,40 ± 0,015 B	

Médias seguidas por letras maiúscula diferentes na linha diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey.

Fonte: Própria autoria

Com relação ao efeito da densidade sobre as propriedades térmicas da Tabela 24, nota-se na Figura 51, efeito linear ($p < 0,05$) decrescente para resistência térmica e crescente para fator solar. O aumento da densidade reduziu a resistência térmica em 10,50% quando comparando painéis com densidade de 0,6 g.cm⁻³ e 0,4 g.cm⁻³, enquanto que para o fator solar, o aumento da densidade elevou essa propriedade térmica em 1,26%.

Figura 51 – Valores das propriedades térmicas em função das densidades: (a) Resistência térmica. (b) Fator solar.

Fonte: Própria autoria

5.2.6 Seleção da densidade e nível de resina

A fim de selecionar a densidade e o nível de resina foram efetuados gráficos com os valores médios de todas as propriedades estudadas. No entanto, para essa seleção foi descartada a densidade de $0,4 \text{ g.cm}^{-3}$, pois esse painel apresentou desagregação das partículas durante o esquadreamento e acabamento. Portanto, considerou-se somente a densidade de $0,5$ e $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$.

A Figura 52 sumariza os valores médios das propriedades que apresentaram interação entre os fatores estudados (Densidade*Resina). Observa-se que as propriedades físicas (absorção de água e inchamento em espessura) foram afetadas significativamente pela Densidade em ambos os níveis de resina, com exceção para absorção de água no nível de 12%

de resina. Esses resultados demonstram que o aumento na densidade dos painéis, reduz a absorção de água no nível de 15% de resina. De acordo com Tinôco (2001), o ambiente é considerado confortável para aves adultas, quando a temperatura apresentar 15-18°C a 22-25°C com umidade relativa entre 50-70%. Dessa maneira, materiais aplicados como forro em aviários, devem apresentar baixa absorção de água, pois segundo Al-Homoud (2005) a absorção de água nos materiais isolantes eleva a condutividade térmica. Além disso, a absorção de água dos materiais afeta negativamente a durabilidade do material. Com base nessa propriedade, a densidade de 0,6 g.cm⁻³ apresenta melhor potencial para aplicação como forro em aviários.

Figura 52 – Propriedades que ocorreram interação entre Densidade*Resina: (a) absorção de água. (b) inchamento em espessura. (c) condutividade térmica. Letras maiúsculas diferentes correspondem à diferença estatística entre os níveis do fator densidade (0,5 e 0,6 g cm⁻³) dentro do fator resina. Letras minúsculas representam diferença significativa entre os níveis do fator resina (12 e 15%) dentro do fator densidade

Fonte: Própria autoria

Para condutividade térmica, nota-se na Figura 52 c, que o aumento na densidade elevou significativamente essa propriedade térmica em ambos os níveis de resina. Entretanto, ao comparar os níveis de resina em cada densidade, somente diagnosticou diferença estatística nos painéis com 0,6 g.cm⁻³. Segundo Wang (1988), materiais que apresentem condutividade térmica menor que 0,25 W m⁻¹K⁻¹ são geralmente considerados isolantes térmicos. Com base na afirmação desse pesquisador, qualquer combinação entre densidade (0,5 e 0,6 g.cm⁻³) e

teor de resina (12 e 15%) é um material isolante. Caso seja adotada a densidade de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ para aplicação como forro, é interessante reduzir a quantidade de resina para 12%, pois essa é uma alternativa para reduzir custo de produção do material e ao mesmo tempo melhorar o desempenho térmico do material.

A Figura 53 ilustra os valores médios das propriedades que exibiram apenas efeito principal para os fatores estudados (Densidade e Resina), ou seja, propriedades em que não ocorreu interação entre os fatores. Para as propriedades térmicas (Figura 53 a e b), visualiza-se que o aumento da densidade e do nível de resina afetou negativamente a resistência térmica e o fator solar. Esse resultado revela que a redução na quantidade de resina para 12%, promove significativamente melhoras nessas propriedades térmicas. No caso de instalações avícolas, isso seria de grande relevância, uma vez que as aves de corte são altamente susceptíveis ao calor.

Figura 53 – Variáveis em que não ocorreu interação entre Densidade e Resina: (a) fator solar. (b) resistência térmica. (c) módulo de ruptura. (d) módulo elástico. Letras maiúsculas diferentes correspondem à diferença estatística entre os níveis do fator densidade e resina.

Fonte: Própria autoria

Quanto às propriedades mecânicas, visualiza-se na Figura 53 c, que o módulo de ruptura e o módulo elástico melhoraram significativamente com aumento da densidade e nível de resina. Em regiões avícolas que se constata alta incidência de velocidade do vento, é comum ocorrer acidentes como destelhamento da cobertura, o que traz risco de vida para os

funcionários e as aves. Assim, painéis com densidade de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ apresentam maior segurança quando aplicados como forro em aviários. Com relação aos níveis de resina, a redução para 12% é uma alternativa para reduzir o custo de produção do material, uma vez que a resistência é contrabalanceada pelo aumento da densidade.

Com base nas informações supracitadas, a densidade de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ e 12% de resina foram selecionadas para a próxima etapa. As razões consideradas para escolha dessa combinação foram:

Resina

- A resina é o fator mais caro na composição dos painéis de saco de cimento;
- Apesar do nível de 15% ter apresentado melhoras significativas nas propriedades físicas e mecânicas, esse afetou negativamente as propriedades térmicas do material;

Densidade

- A densidade de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ melhorou significativamente as propriedades mecânicas do material, o que é relevante para assegurar segurança para as aves e funcionários, em caso de acidentes no aviário;
- A absorção de água (aumenta a condutividade térmica) foi menor na densidade de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$, o que é desejável, pois no aviário o ambiente é controlado para manter umidade relativa entre 40 a 60%;
- Como a resina tem elevado custo para fabricação dos painéis, uma maneira de reduzir o custo é aumentar a densidade e diminuir a quantidade de resina. Portanto, a densidade de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ foi considerada.

5.2.7 Considerações parciais da fase 2

A segunda fase do experimento revelou que os fatores estudados atuam de forma dependente na absorção de água, inchamento em espessura e condutividade térmica, enquanto que para o módulo de ruptura, módulo elástico, fator solar e resistência térmica, os fatores agem de forma independente no material.

Para às propriedades físicas (absorção de água e inchamento em espessura), o nível de 15% proporcionou melhoras significativas nos painéis. Entretanto, a densidade só teve efeito

benéfico na absorção de água, pois foi relatado comportamento linear decrescente quando a densidade do painel aumentou. Além disso, o material apresentou para absorção de água comportamento linear no período entre 4 e 24 horas.

Quanto às propriedades mecânicas (módulo de ruptura e elástico), a elevação da densidade proporcionou melhoras significativas nos painéis, enquanto que a redução de 3% no nível de resina foi suficiente para afetar o desempenho dessas propriedades.

Com relação às propriedades térmicas (condutividade, resistência e fator solar), o nível de 15% de resina apresentou significativamente maiores valores. Além disso, a elevação da densidade também demonstrou efeito negativo nas propriedades térmicas.

5.3 Terceira fase – Avaliação das embalagens longa vida e verniz como revestimento

Esse item documenta e compara o desempenho físico, mecânico e térmico de painéis de saco de cimento com densidade $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ e teor de resina de 12%, revestidos com embalagem longa vida (ELV) e impermeabilizados com verniz. Essa análise é de fundamental relevância antes da aplicação do material como forro nos modelos de protótipos experimentais, pois é necessário identificar a eficiência desses revestimentos. A seguir serão apresentadas as respectivas análises e resultados:

- Análise de pressuposição para ANOVA;
- Propriedades Físicas (Absorção e Inchamento);
- Propriedades Mecânicas (Módulo de ruptura e Módulo elástico);
- Propriedades Térmicas (Condutividade térmica, Resistência térmica e Fator solar);
- Considerações parciais da fase 3.

5.3.1 Análise pressuposição ANOVA

A Tabela 25 descreve os P-valores dos testes de normalidade (Shapiro Wilk) e homogeneidade (Bartlett) das propriedades estudadas. Observa-se que os erros das variáveis experimentais exibiram P-valores acima de 5% para ambos os testes, o que caracteriza os resíduos como normais e homogêneos.

Tabela 25 – Pressuposição da ANOVA (Normalidade e Homogeneidade)

Variáveis	Normalidade (Shapiro Wilk)	Homocedasticidade (Bartlett)
Absorção de Água*	0,1043 ^{NS}	0,1442 ^{NS}
Inchamento em Espessura*	0,1801 ^{NS}	0,1068 ^{NS}
Módulo de Ruptura	0,2458 ^{NS}	0,2452 ^{NS}
Módulo Elástico	0,1753 ^{NS}	0,1025 ^{NS}
Condutividade térmica	0,8475 ^{NS}	0,1691 ^{NS}
Resistência térmica	0,2337 ^{NS}	0,5048 ^{NS}
Fator solar	0,2621 ^{NS}	0,4329 ^{NS}
Emitância	0,6113 ^{NS}	0,3789 ^{NS}

*Necessário à retirada de outlier e usar a transformação $\sqrt{y}$

^{NS} Não significativo a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

No entanto, para as propriedades físicas (absorção e inchamento), foi necessário à remoção dos *outliers* e a transformação dos dados originais, pois os erros experimentais apresentaram normalidade e homocedasticidade das variâncias. Assim, os dados originais foram transformados empregando a técnica $\sqrt{y}$.

5.3.2 Propriedades físicas

Esse item descreve os resultados da absorção de água e inchamento em espessura dos painéis revestidos com embalagem longa e impermeabilizado com verniz.

5.3.2.1 Análise descritiva

Os painéis de partículas apresentaram valor médio de 43,88% para absorção de água e 11,90% para inchamento em espessura (Tabela 26).

Tabela 26 – Análise descritiva das propriedades físicas

Variável	N*	Média	CV (%)**	Máx	Min
Absorção de água (%)	66	43,38	62,12	91,70	5,85
Inchamento (%)	66	11,90	52,30	27,85	1,26

*Número de unidades experimentais

**Coeficiente de variação

Fonte: Própria autoria

5.3.2.2 Análise inferencial

A análise da ANOVA revelou que os fatores estudados atuaram de forma dependente na absorção de água dos painéis, pois foi diagnosticada interação significativa ($p < 0,05$) entre os fatores. Já, para variável inchamento em espessura, os fatores exerceram efeito independente, pois foi detectada significância ($p < 0,05$) somente para os efeitos principais (Revestimento e Horas) (Tabela 27).

Tabela 27 – Análise ANOVA das propriedades físicas (P-valores)

Fonte de variação / Variável	Absorção	Inchamento
Revestimento	$<2,2e-16^{***}$	$4,057e-13^{***}$
Horas	$<2,2e-16^{***}$	$1,801e-15^{***}$
Revestimento*Horas	$2,421e-13^{***}$	$0,2078^{NS}$

*Significativo a $p < 0,05$

^{NS} Não significativo a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

Após a análise da ANOVA foi realizado o desdobramento da interação (Revestimento*Horas) referente à absorção de água. Os valores médios dessa análise estão descritos na Tabela 28. Ao estudar o fator Revestimento dentro do fator Horas, nota-se que o tratamento embalagem longa vida (ELV) apresentou significativamente ($p < 0,05$) o menor valor entre as horas (2 e 24) estudadas. O revestimento com ELV quando comparado com a testemunha reduziu a absorção de água em 61,64% para 2h e 46,03% para 24h.

Para o verniz foi constatado diferença significativa ($p < 0,05$) somente às 2 horas, podendo ser visualizado na Tabela 28, que o valor médio experimental foi intermediário aos demais tratamentos. Ao comparar o valor médio do painel com verniz, em relação à testemunha. Foi registrada redução na absorção de água equivalente a 32,38% no período das 2 horas.

Quanto ao fator Horas dentro do fator Revestimento, a Tabela 28, informa que para todos os tratamentos avaliados, os valores médios experimentais foram significativamente ($p < 0,05$) superiores no horário das 24 horas. Esse comportamento demonstra que os revestimentos empregados não foram eficientes em reduzir a absorção de água durante os horários estudados.

Tabela 28 – Valores médios dos tratamentos para propriedade absorção de água

Revestimento / Horas (h)	2	24	Média Geral
ELV*	2,70±0,23 Aa	4,70±0,29 Ba	3,70±2,33
Verniz	4,76±0,53 Ab	8,64±0,30 Bb	6,70±2,43
Testemunha	7,04±0,47 Ac	8,71±0,35 Bb	7,87±1,71
Média geral	4,83±1,95	7,35±1,96	

Médias seguidas por letras maiúscula diferentes na linha e minúscula na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste de Tukey. Dados transformados pela função $\sqrt{y}$

*ELV: Embalagem Longa Vida

Fonte: Própria autoria

A absorção de água em painéis de partículas ocorre através dos volumes de espaços vazios (MELO e MENEZZI, 2010). Além disso, segundo Freire et al. (2011) a absorção de água em painéis aglomerados de madeira (*Eucalyptus* sp. misturado com *Pinus* sp.) ocorre pela região lateral e superficial do material, sendo que no período de 24 horas a maior absorção é proveniente da região superficial.

Com base na afirmação dos autores, a conjectura aventada para explicar o comportamento desse fenômeno está pautada sobre a influência do revestimento nos espaços vazios do material. Para o revestimento ELV, acredita-se que as camadas de polietileno tenham repellido as moléculas de água, ficando somente a região lateral responsável pela absorção de água (Figura 54), resultando assim, nos menores valores quando comparado aos demais tratamentos.

Para os painéis revestidos com verniz, infere-se que a absorção de água tenha ocorrido pela região lateral e superficial, podendo explicar o desempenho intermediário entre os tratamentos no horário das 2 horas. No entanto, no período das 24 horas a absorção de água do verniz igualou à testemunha, não apresentando eficiência nesse horário.

Figura 54 – Corpo de prova revestido com ELV: (a) ELV. (b) superfícies dos corpos de prova revestidos com embalagem. (c) absorção de água no corpo de prova revestido com embalagem. A Figura 54 (a) foi extraída do site Planeta Consciente.

Fonte: Própria autoria

A Tabela 29 descreve o resultado do teste de Tukey para o inchamento em espessura. Observa-se que os painéis com revestimento ELV apresentaram significativamente ($p < 0,05$) menor valor de inchamento em espessura entre os tratamentos estudados, enquanto que os painéis com revestimento de verniz não exibiu diferença significativa frente à testemunha. O uso de revestimento ELV reduziu o inchamento em espessura em 35,14% quando comparado à testemunha.

Tabela 29 – Valores médios dos tratamentos para propriedade inchamento em espessura

Revestimento / Horas (h)	2	24	Média Geral
ELV*	1,73±0,39	3,29±0,46	2,51±0,95A
Verniz	3,01±0,75	4,07±0,36	3,54±0,98B
Testemunha	3,28±0,47	4,46±0,34	3,87±0,65B
Média geral	2,67±0,87a	3,94±0,62b	

Médias seguidas por letras maiúscula diferentes na coluna e minúscula na linha diferem significativamente a 5% pelo Teste de Tukey. Dados transformados pela função $\sqrt{y}$

*ELV: Embalagem Longa Vida

Fonte: Própria autoria

A celulose é um polímero natural da madeira que é constituído por moléculas de glicose, as quais possuem em sua estrutura grupos hidroxilas (OH). Esses grupos hidroxilas

tem afinidade de ligarem-se as moléculas de água através da ligação de hidrogênio. Além da celulose, as hemiceluloses são outros polímeros presentes na madeira que também se ligam quimicamente com as moléculas de água levando ao inchamento dos painéis de partículas (GWON et al., 2010; LI et al., 2011).

Quando as moléculas de água se ligam a esses componentes da parede celular das fibras, essa interação química promove um afastamento das cadeias de celulose e com isso diminui as forças de interação entre elas. Menor a força de interação molecular, menor a resistência mecânica da fibra.

Como foi constatado anteriormente, os painéis com revestimento ELV apresentaram menor absorção de água. No entanto, para os painéis com revestimento de verniz e testemunha, a análise de absorção revelou que no horário das 24 horas não existiu diferença significativa. Assim, acredita-se que a quantidade de ligações químicas entre as partículas com as moléculas de água (testemunha e verniz) possam ter sido equivalentes, acarretando dessa forma no mesmo valor de inchamento.

Para aplicação como forro em aviários, os painéis com revestimento de ELV demonstraram melhor eficiência quanto à absorção de umidade. Esse resultado refletirá em seu desempenho durante o funcionamento do sistema de nebulização, garantindo menor absorção de água pelo material isolante, refletindo em menores variações das propriedades térmicas e consequentemente, melhor o isolamento térmico.

5.3.3 Propriedades mecânicas

Esse item descreve os resultados do módulo de ruptura e módulo elástico dos painéis revestidos com embalagem longa e impermeabilizado com verniz.

5.3.3.1 Análise descritiva

A Tabela 30 descreve a análise descritiva das propriedades mecânicas (MOR e MOE). Nota-se que ambas as propriedades, os valores do coeficiente de variação foram altos.

Tabela 30 – Análise descritiva das propriedades mecânicas

Variável	N*	Média	CV (%)**	Máx	Min
MOR (MPa)	27	4,82	58,48	9,72	1,66
MOE (MPa)	27	384,31	35,30	737,6	195,2

*Número de unidades experimentais

**Coeficiente de variação

Fonte: Própria autoria

5.3.3.2 Análise inferencial

A análise da ANOVA para as propriedades mecânicas está representada na Tabela 31. Nota-se, que o fator Revestimento afetou significativamente ($p < 0,05$) o desempenho de MOR e MOE, pois foi constatado P-valores abaixo de 5%.

Tabela 31 – Análise ANOVA das propriedades mecânicas (P-valores)

Fonte de variação / Variável	MOR	MOE
Revestimento	$<2,2e-16^{***}$	$6,98e-08^{***}$

*Significativo a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

A fim de identificar se existem diferenças significativas entre os valores médios dos tratamentos, foi aplicado o teste de comparação de Tukey, o qual está descrito na Tabela 32. Visualiza-se que o painel com revestimento ELV apresentou significativamente ($p < 0,05$) maiores valores para as propriedades mecânicas, enquanto que o painel impermeabilizado com verniz exibiu pior desempenho.

Tabela 32 – Valores médios dos tratamentos para as propriedades mecânicas

Revestimento	MOR	MOE
ELV*	8,85±0,69 A	537,98±97,63 A
Testemunha	3,88±0,65 B	384,54±66,45 B
Verniz	2,26±0,38 C	247,46±42,99 C

Médias seguidas por letras maiúscula diferentes na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste de Tukey

*ELV: Embalagem Longa Vida

Fonte: Própria autoria

O painel com revestimento ELV proporcionou aumento de 128,09 e 39,90% para o MOR e MOE, respectivamente. No entanto, para o painel impermeabilizado com verniz, o MOR e o MOE foram reduzidos em 41,75 e 35,64%, respectivamente quando comparados com a testemunha.

As ELV utilizadas pela indústria láctea são materiais constituídos por seis camadas: 1) polietileno, 2) papel, 3) polietileno, 4) alumínio, 5) polietileno e 6) polietileno. Esses componentes são responsáveis em proporcionar firmeza às embalagens. Assim, essas embalagens quando associadas aos painéis de partículas de saco de cimento atuaram como reforço e proporcionaram aumento nas propriedades mecânicas do material.

A aplicação do verniz sobre os painéis resultou na queda das propriedades mecânicas, pois deduz que o verniz possa ter reagido negativamente com a resina, afetando as ligações químicas na matriz e consequentemente menores os valores de MOR e MOE. No entanto, é necessário novos estudos para investigar a relação de causa e efeito desse fenômeno.

Dentre os revestimentos avaliados, a ELV demonstrou ser mais eficiente para ser associado aos painéis de partículas de saco de cimento com proposta de aplicação como forro em aviários.

5.3.4 Propriedades térmicas

Esse item descreve os resultados da condutividade térmica, resistência térmica, fator solar e emissividade dos painéis revestidos com embalagem longa e impermeabilizado com verniz.

5.3.4.1 Análise descritiva

A Tabela 33 descreve a análise descritiva das propriedades térmicas dos painéis.

Tabela 33 – Análise descritiva das propriedades térmicas					
Propriedades	N*	Média	CV (%)**	Máx	Min
Condutividade térmica ($\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$)	15	0,150	8,83	0,169	0,132
Resistência térmica ($\text{m}^2\text{K W}^{-1}$)	15	0,067	12,09	0,078	0,056
Fator solar (%)	15	2,40	1,61	2,45	2,34
Emissividade	40	0,619	29,52	0,784	0,256

*Número de unidades experimentais

**Coeficiente de variação

Fonte: Própria autoria

5.3.4.2 Análise inferencial

A análise da ANOVA revelou que a condutividade térmica, resistência térmica, fator solar e emitância dos painéis são afetados significativamente ($p < 0,05$) pelo fator revestimento, ou seja, a incorporação das ELV ou verniz influencia em todas as propriedades térmicas estudadas (Tabela 34).

Tabela 34 – Análise ANOVA das propriedades térmicas (P-valores)

Fonte de variação / Variável	Condutividade	Resistência	Fator solar	Emissividade
Revestimento	1,380e-16***	3,043e-07***	3,739e-07***	<2,2e-16***

*Significativo a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

Os valores médios dos tratamentos apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) para condutividade térmica, resistência térmica e fator solar (Tabela 35). Os painéis com revestimento ELV apresentaram significativamente menor valor para condutividade térmica, ou seja, a inserção desse material permitiu reduzir essa propriedade em 9,33%, enquanto que o verniz elevou significativamente em 9,09% essa propriedade térmica.

Tabela 35 – Valores médios dos tratamentos para as propriedades térmicas

Revestimento	Condutividade	Resistência	Fator Solar
ELV*	0,136±0,003 A	0,0771±0,001 A	2,35±0,007 A
Testemunha	0,150±0,006 B	0,0618±0,002 B	2,41±0,013 B
Verniz	0,165±0,002 C	0,0591±0,002 C	2,44±0,014 C

Médias seguidas por letras maiúscula diferentes na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste de Tukey

*ELV: Embalagem Longa Vida

Fonte: Própria autoria

Para resistência térmica, os painéis revestidos com ELV exibiram significativamente ($p < 0,05$) valor médio superior aos demais tratamentos. Esse tipo de revestimento proporcionou um acréscimo de 19,84% quando comparado com a testemunha. Já os painéis impermeabilizados com verniz apresentaram significativamente ($p < 0,05$) menor valor, sendo que a adição desse material decresceu a resistência térmica em 4,36%, quando comparado com a testemunha.

Com relação ao fator solar, os painéis revestidos com ELV exibiram valor médio inferior ($p < 0,05$), enquanto que o impermeabilizado com verniz apresentou maior valor para essa propriedade. Ao comparar o revestimento de ELV com a testemunha, foi constatada redução equivalente a 2,48%, enquanto que o verniz aumentou essa propriedade em 1,22%.

O alumínio é um material empregado na confecção de barreiras radiantes, uma vez que esse material apresenta baixa emissividade e alta refletividade de ondas longas (MICHELS; LAMBERTS; GUTHS, 2008). Assim, a camada de alumínio presente nas embalagens aumentou a reflexão dos painéis, resultando na melhora significativa das propriedades térmicas.

A emissividade é uma relação entre a densidade de radiação de um corpo cinza com a de um corpo negro. Se um determinado corpo tem emissividade de 0,5, significa que ele emite metade da radiação que seria emitida por um corpo negro (BAÊTA e SOUZA, 2010).

A Tabela 36 descreve os resultados do teste de Tukey para emissividade. Nota-se que o alumínio expressou significativamente ($p < 0,05$) menor valor em relação aos demais tratamentos estudados. Já os painéis impermeabilizados com verniz apresentaram significativamente ($p < 0,05$) maior valor em relação ao alumínio e ao cartão, enquanto que a testemunha não exibiu significância entre cartão e o verniz.

Tabela 36 – Valores médios dos tratamentos para a emissividade

Revestimento	Emissividade
Alumínio	0,263±0,004 A
Cartão	0,682±0,034 B
Testemunha	0,706±0,017 BC
Verniz	0,727±0,030 C

Médias seguidas por letras maiúscula diferentes na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste de Tukey

Fonte: Própria autoria

Quando um corpo é exposto à radiação térmica, parte é refletida (ρ), absorvida (α) ou transmitida (τ). No caso dos isolantes reflexivos, quando a radiação térmica atinge esse tipo de material a $\tau = 0$ e a $\alpha + \rho = 1$. Nesses materiais, a superfície deve apresentar baixa emissividade ($< 0,1$ emitância) e alta refletância ($> 0,9$ refletividade) (BAÊTA e SOUZA, 2010; AL-HOMOUD, 2005).

Baseado na afirmação dos pesquisadores infere-se que o alumínio tenha apresentado maior refletividade que os demais revestimentos, resultando assim na menor emissividade. Embora esse revestimento tenha proporcionado melhoras significativas para essa propriedade,

o alumínio da ELV não pode ser classificado como isolante reflexivo, pois sua emissividade foi superior a 0,1.

Considerando que as aves de corte são sensíveis ao estresse térmico, o revestimento com ELV demonstra maior proteção contra a transmissão de calor quando aplicado como forro nos aviários, pois as propriedades térmicas foram significativamente melhoradas. No entanto, o verniz não demonstra ser um bom revestimento para os painéis, uma vez que esse aumentaria a transmissão de calor para o interior dos aviários.

5.3.5 Considerações parciais da fase 3

A terceira fase do estudo revelou que o revestimento com ELV promoveu significativamente melhorias nas propriedades físicas, mecânicas e térmicas dos painéis, enquanto que o verniz prejudicou as propriedades mecânicas e térmicas.

Apesar das ELV terem demonstrado melhorias nas propriedades investigadas, o alumínio desse material não pode ser classificado como um isolante reflexivo, pois a emissividade ficou acima de 0,1. No entanto, o emprego desse material demonstra ser relevante para o teste nos protótipos experimentais, uma vez que as propriedades térmicas, físicas e mecânicas foram melhoradas.

5.4 Quarta fase – Desempenho térmico de protótipos de aviários com forro de painéis de partículas

Esse item descreve os resultados do desempenho térmico de protótipos de aviários em escala reduzida e distorcida com painéis de partículas ($0,6 \text{ g.cm}^{-3}$, 12% de resina e revestidos com embalagem longa vida) aplicados como forro. Assim, serão apresentados a seguir:

- Radiação solar;
- Desempenho térmico;
- Considerações parciais da fase 4

5.4.1 Radiação solar

A Figura 55 ilustra o comportamento da radiação solar nas diferentes estações do ano, considerando os diferentes horários em que ocorreram as coletas das temperaturas e das umidades relativas no interior dos protótipos. Observa-se que o período entre 12h00min e 14h00min, correspondeu à faixa do dia em que os protótipos receberam maiores quantidades de radiação solar. Em relação às estações, visualiza-se que a época do verão exibiu maiores quantidades de radiação solar entre 10h00min à 16h00min, enquanto que o inverno exibiu menor quantidade de radiação solar. Além disso, nota-se que no horário das 18h00min, as estações de outono e de inverno, não apresentaram valores de radiação solar.

Figura 55 – Comportamento da radiação solar durante o período de coleta nos protótipos

Fonte: Própria autoria

5.4.2 Desempenho térmico

5.4.2.1 Análise de pressuposição

A Tabela 37 descreve os p-valores dos testes de normalidade (Shapiro Wilk) e homogeneidade (Bartlett) das variáveis estudadas. Observa-se que os erros das variáveis experimentais exibiram p-valores acima de $p < 0,05$ para ambos os testes, o que caracteriza os resíduos como normais e homogêneos.

Para a temperatura interna, umidade relativa, entalpia e IAPfc, foi necessária à remoção dos *outliers* para que o conjunto de dados exprimissem normalidade e homocedasticidade de variâncias para os erros experimentais.

Tabela 37 – Pressuposição da ANOVA – Normalidade e Homogeneidade

Variável	Estação	Normalidade (Shapiro Wilk)	Homocedasticidade (Bartlett)
Temperatura Superficial	Primavera	0,6580 ^{NS}	0,5427 ^{NS}
	Verão	0,4219 ^{NS}	0,2914 ^{NS}
	Outono	0,4526 ^{NS}	0,3588 ^{NS}
	Inverno	0,8280 ^{NS}	0,8032 ^{NS}
Temperatura ambiente	Primavera	0,1636 ^{NS}	0,0722 ^{NS}
	*Verão	0,4634 ^{NS}	0,0805 ^{NS}
	Outono	0,2450 ^{NS}	0,0676 ^{NS}
	*Inverno	0,7119 ^{NS}	0,8120 ^{NS}
Umidade Relativa	Primavera	0,6790 ^{NS}	0,2567 ^{NS}
	Verão	0,0739 ^{NS}	0,0840 ^{NS}
	Outono	0,2904 ^{NS}	0,0757 ^{NS}
	*Inverno	0,5397 ^{NS}	0,1604 ^{NS}
Entalpia	Primavera	0,9960 ^{NS}	0,0600 ^{NS}
	*Verão	0,9060 ^{NS}	0,2258 ^{NS}
	Outono	0,1881 ^{NS}	0,4033 ^{NS}
	Inverno	0,0531 ^{NS}	0,0884 ^{NS}
IAPfc	Primavera	0,9205 ^{NS}	0,2168 ^{NS}
	*Verão	0,5560 ^{NS}	0,0760 ^{NS}
	Outono	0,3146 ^{NS}	0,0690 ^{NS}
	Inverno	0,2701 ^{NS}	0,2375 ^{NS}

*Necessário à retirada de outlier

^{NS} Não significativo a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

5.4.2.2 Temperatura superficial

O resumo da temperatura superficial nas diferentes estações do ano está sumarizado na Tabela 38. As temperaturas superficiais da telha e do painel revestido com ELV (forro) nos diferentes horários apresentaram temperatura média de 40,30, 41,67, 39,61 e 37,74°C na primavera, verão, outono e inverno. Nota-se que o verão apresentou maior valor, enquanto que o inverno exibiu menor valor.

Tabela 38 – Análise descritiva da temperatura superficial

Estação	N*	Média (°C)	CV** (%)	Min (°C)	Máx (°C)
Primavera	52	40,30	17,60	28,10	59,17
Verão	36	41,67	15,07	33,13	55,33
Outono	40	39,61	18,85	24,03	52,87
Inverno	40	37,74	16,42	22,53	49,27

*Número de unidades experimentais

**Coeficiente de variação

Fonte: Própria autoria

A análise da ANOVA revelou que a temperatura superficial interna em todas as estações foi influenciada significativamente ($p < 0,05$) pelo fator acondicionamento, enquanto que para o fator horas não foi diagnosticado significância para nenhuma estação climática (Tabela 39).

Tabela 39 – Análise ANOVA da temperatura superficial (P-valores)

Fonte de Variação / Estação	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Bloco	0,001183**	0,001318**	1,01e-12**	3,482e-11***
Acondicionamento	1,008e-09***	1,248e-09***	3,08e-11**	9,450e-11***
Horas	0,9327 ^{NS}	0,0875 ^{NS}	0,06541 ^{NS}	0,5201 ^{NS}
Acondiciona*Horas	0,8283 ^{NS}	0,4936 ^{NS}	0,31539 ^{NS}	0,7755 ^{NS}

*Significativo a $p < 0,05$ ^{NS} Não significativo a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

Em todas as estações avaliadas, a temperatura superficial interna do protótipo com forro foi significativamente ($p < 0,05$) menor que a temperatura superficial interna do telhado do protótipo sem forro (Figura 56).

Figura 56 – Desempenho da temperatura superficial dos protótipos experimentais
Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste Tukey a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

Quando a radiação solar incide sobre o telhado de uma edificação, parte é refletida, enquanto que a outra fração é absorvida pelo material, o que resulta no aumento da sua energia térmica a ser dissipada tanto para o interior quanto para o exterior de uma edificação (BAÊTA e SOUZA, 2010).

A lei de Stefan-Boltzman afirma que o poder emissivo de uma determinada superfície dependerá de sua temperatura, ou seja, a quantidade de energia irradiada é proporcional à quarta potência da temperatura (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2011).

As telhas dos protótipos ao absorverem a radiação solar, acumularam energia térmica, o que levou no aumento da temperatura. Posteriormente, parte da energia térmica acumulada pelos telhados, foi trocada (calor) com o ambiente interno através da radiação. No caso do protótipo com forro, provavelmente, parte da radiação emitida pelo telhado foi refletida pelo alumínio das embalagens (baixa emissividade), o que contribuiu para menor temperatura superficial interna do forro, justificando assim, as menores temperaturas superficiais obtidas nas diferentes estações.

5.4.2.3 Variáveis térmicas

A Tabela 40 descreve a análise descritiva da temperatura ambiente no interior dos protótipos e da umidade relativa no interior dos protótipos, nas diferentes estações do ano.

Tabela 40 – Análise descritiva da temperatura do ar e umidade relativa no interior dos protótipos

Variáveis	Estação	N*	Média (°C)	CV** (%)	Min (°C)	Máx (°C)
Temperatura ambiente	Primavera	156	28,81	14,64	19,77	36,96
	Verão	139	30,24	18,05	18,58	41,70
	Outono	168	26,16	22,26	15,49	38,42
	Inverno	162	25,99	23,12	13,43	36,20
Umidade Relativa	Primavera	156	61,69	24,56	38,26	98,79
	Verão	144	64,45	27,61	30,63	97,68
	Outono	168	63,22	27,97	33,56	96,36
	Inverno	165	55,11	30,91	30,55	91,09

*Número de unidades experimentais

**Coeficiente de variação

Fonte: Própria autoria

A análise da ANOVA para temperatura ambiente e umidade relativa no interior dos protótipos está descrita na Tabela 41. Nota-se, que a temperatura ambiente no interior dos protótipos nas estações de primavera, verão e outono foram influenciadas significativamente ($p < 0,05$) pelos efeitos principais, pois foi registrada significância para o fator acondicionamento e horas. Essa análise revela que a temperatura interna nos protótipos é influenciada de forma independente dos fatores estudados para as estações supracitadas. No entanto, no inverno, essa análise indicou que a temperatura ambiente é influenciada significativamente ($p < 0,05$) somente pelo fator horas.

Com relação à umidade relativa, a análise da ANOVA revelou que os fatores influenciam somente na primavera, pois nessa estação foi diagnosticado efeito significativo para os efeitos principais. Entretanto, para as demais estações, apenas o fator horas apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) para essa variável térmica.

Tabela 41 – Análise ANOVA da temperatura do ar e umidade relativa no interior dos protótipos (P-valores)

Variáveis	FV/ Estação	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Temperatura ambiente	Bloco	1,235e-05***	2,394e-13***	<2,2e-16***	<2e-16***
	Acondicionamento	0,01198*	1,003e-06***	0,04421*	0,8906 ^{NS}
	Horas	<2e-16***	<2,2e-16***	<2,2e-16***	<2e-16***
	Acondiciona*Horas	0,99150 ^{NS}	0,2581 ^{NS}	0,46768 ^{NS}	0,2407 ^{NS}
Umidade Relativa	Bloco	1,083e-08***	9,999e-13***	<2,2e-16***	<2e-16***
	Acondicionamento	0,04036*	0,5357 ^{NS}	0,3139 ^{NS}	0,2834 ^{NS}
	Horas	<2,2e-16***	<2,2e-16***	<2,2e-16***	<2e-16***
	Acondiciona*Horas	0,99913 ^{NS}	0,5549 ^{NS}	0,8928 ^{NS}	0,2203 ^{NS}

FV = Fonte de Variação

*Significativo a $p < 0,05$

^{NS} Não significativo a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

A Figura 57 apresenta os resultados da temperatura ambiente nas diferentes estações climáticas. Nota-se, que em todas as estações do ano, com exceção do inverno, o protótipo com forro exibiu temperatura ambiente significativamente inferior ($p < 0,05$) em relação ao protótipo sem forro.

Figura 57 - Temperatura interna no interior dos protótipos nas diferentes estações
Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste Tukey a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

Quando a radiação solar atinge o telhado do protótipo com forro, parte dessa energia é absorvida e transmitida na forma de radiação para o interior do protótipo. Essa radiação, ao atingir o forro, parte é refletida pelo alumínio (baixa emissividade) enquanto que outra parte é

absorvida e transformada em calor. Por meio da condução, o calor é transferido da superfície do forro (região revestida com alumínio das embalagens) para outra superfície do forro (região revestida com a parte externa das embalagens) e posteriormente o calor é transferido na forma de radiação para o interior do protótipo. Por apresentar menor temperatura superficial, infere-se que o forro tenha emitido menores quantidades de radiação e consequentemente menor a temperatura ambiente interna no interior do protótipo.

De acordo com Cassuce (2011) a temperatura de conforto estimada 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 na Figura 58 que para primeira semana de vida dos frangos de corte, o protótipo com forro apresentou temperaturas internas desconfortáveis para as aves em todas as estações, indicando a necessidade de aquecimento do ambiente. Esse mesmo comportamento foi registrado para o protótipo sem forro, com exceção na estação de verão que na qual foi aferido temperatura média de 31,5°C.

Para a segunda semana de vida, o protótipo com forro apresentou temperatura confortável durante a estação de outono e inverno, enquanto que na primavera e no verão a temperatura ficou acima do preconizado pela autora. Esse mesmo resultado foi observado no protótipo sem forro. Apesar do protótipo com forro ter apresentado temperaturas desconfortáveis nas estações supracitadas, visualiza-se na Figura 57 que o arrefecimento do ar no interior dessa instalação despenderia menor gasto de energia do que o protótipo sem forro, pois as temperaturas foram mais próximas da região de conforto térmico para frangos de corte.

Na terceira semana de vida, os protótipos experimentais apresentaram valores desconfortáveis para aves de corte em todas as estações, tornando necessária a inserção de outras tecnologias para atenuar a temperatura interna. Esse mesmo comportamento também foi diagnosticado para quarta, quinta e sexta semana de vida.

A Figura 58 descreve o comportamento das temperaturas internas em função das horas para as diferentes estações. Observa-se que essa variável apresenta comportamento quadrático em todas as estações climáticas. Ao derivar as equações, nota-se que às 13h50min, 15h11min, 13h25min e 13h33min são os horários em que ocorreram os maiores valores de temperatura para primavera, verão, outono e inverno, respectivamente.

Para primeira semana de vida das aves de corte, observa-se na Figura 58, que às 12h00min foi o horário do dia em que a temperatura esteve mais próxima do conforto térmico

(31,3°C), para estação da primavera, verão e inverno, enquanto que no outono a temperatura mais próxima correspondeu ao horário das 14h00min. Com relação à segunda semana de vida das aves de corte, todas as estações apresentaram temperaturas desconfortáveis, pois essas ficaram fora da faixa (26,3 e 27,1°C). Para terceira, quarta, quinta e sexta semana de vida, as temperaturas de todos os horários em cada estação também foram desconfortáveis para frangos de corte.

Figura 58 – Comportamento da temperatura interna nas diferentes estações: (a) primavera. (b) verão. (c) outono. (d) inverno.

Fonte: Própria autoria

A Figura 59 descreve os resultados médios e desvio padrão da umidade relativa aferida nas estações climáticas. Nota-se que somente na estação da primavera os tratamentos apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), sendo que o protótipo dotado com forro exibiu maior valor, equivalente a 4,91%.

Figura 59 – Umidade relativa no interior dos protótipos nas diferentes estações climáticas
Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste Tukey a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

A umidade relativa determina a quantidade de vapor de água presente no ar em relação à quantidade máxima possível de vapor que poderia haver, sob a temperatura que se encontra. Assim, a umidade relativa é inversamente proporcional à temperatura do ar, já que é esta que controla a umidade máxima em um volume de ar (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2011).

Em razão do protótipo com forro ter apresentando menor temperatura ambiente na primavera, essa é a causa que explica a maior umidade relativa constatada nessa estação climática. Por outro lado, embora a estação do verão e outono tenha apresentado diferença estatística para as temperaturas ambientes no interior dos protótipos, não foi registrada diferença significativa para umidade relativa nessas estações.

Segundo Tinôco (2001), de maneira geral, umidade relativa do ar entre 50 a 70% é confortável para aves adultas quando a temperatura do ar indicar 15-18°C a 22-25°C. Observa-se na Figura 59 que todas as estações climáticas apresentaram valores médios de umidade relativa preconizada pela autora. No entanto, cabe salientar, que os valores das temperaturas ambientes dos protótipos ficaram acima do exigido pela pesquisadora.

A Figura 60 descreve o comportamento das umidades relativas em função das horas para as diferentes estações climáticas. Observa-se que essa variável apresentou efeito quadrático em todas as estações. Ao derivar as equações, nota-se que às 14h11min, 15h25min, 13h53min e 14h12min são os horários em que ocorreram os menores valores de umidade relativa para primavera, verão, outono e inverno, respectivamente.

Figura 60 – Comportamento da umidade relativa nas diferentes estações: (a) primavera. (b) verão. (c) outono. (d) inverno.

Fonte: Própria autoria

O resfriamento evaporativo é um mecanismo latente que as aves utilizam para perda de calor em ambientes com altas temperaturas. Isso porque as aves têm a capacidade de elevar a frequência respiratória até 10 vezes. No entanto, para que esse mecanismo tenha eficácia, é necessário que a umidade relativa do ambiente não esteja alta (próxima do ponto de saturação), pois caso contrário, as aves irão acumular energia térmica e consequentemente desenvolver estresse térmico (FURLAN e MACARI, 2002).

Assim, visualiza-se na Figura 60, que o horário das 08h00min apresentou os maiores valores de umidade relativa no interior dos protótipos. Essa análise revela que durante esse período do dia, as aves apresentariam maiores dificuldades para dissipar calor pelo mecanismo evaporativo. Por outro lado, nas horas mais quentes (12h00min até 16h00min) da primavera e do verão, a umidade relativa média apresentou valores compatíveis a 50-70% preconizado por Tinôco (2001). Porém, nas demais estações, dependendo do horário, as umidades relativas não atenderam o estabelecido pela pesquisadora.

5.4.2.4 Índices de conforto térmico

O resumo dos dados dos índices de conforto térmico (Entalpia e IAPfc) obtidos no interior dos protótipos, em relação às diferentes estações climáticas, está esboçado na Tabela 42. Observa-se que o verão exibiu os maiores valores para entalpia e IAPfc, enquanto que o inverno apresentou os menores valores.

Tabela 42 – Análise descritiva da entalpia no interior dos protótipos

Variáveis	Estação	N*	Média	CV**	Min	Máx
Entalpia	Primavera	156	66,28	10,60	49,36	85,82
	Verão	140	71,87	12,47	49,43	86,62
	Outono	168	58,31	15,11	40,24	78,11
	Inverno	168	53,38	17,06	34,76	71,79
IAPfc	Primavera	156	29,98	16,17	20,30	41,98
	Verão	139	33,14	20,39	20,10	51,11
	Outono	168	26,64	23,40	17,74	44,14
	Inverno	168	25,45	22,67	16,78	39,04

*Número de unidades experimentais

**Coeficiente de variação

Fonte: Própria autoria

Os resultados da ANOVA para os índices de conforto térmico estão sumarizados na Tabela 43. Para ambos os índices de conforto térmico, observa-se diferença significativa ($p < 0,05$) para os efeitos principais na primavera, verão e outono, ou seja, os fatores Acondicionamento e Horas atuam independentes na manifestação desses índices. Entretanto, esse comportamento não foi atestado no inverno, pois para essa estação climática, foi identificado efeito significativo ($p < 0,05$) somente para o fator Horas.

Tabela 43 – Análise ANOVA dos índices de conforto no interior dos protótipos (P-valores)

Variáveis	FV / Estação	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Entalpia	Bloco	6,671e-16***	2,1901e-09***	<2e-16***	<2e-16***
	Acondicionamento	0,03065*	5,827e-10***	0,02988*	0,4591 ^{NS}
	Horas	2,254e-15***	<2,2e-16***	<2e-16***	<2e-16***
	Acondiciona*Horas	0,94176 ^{NS}	0,1774 ^{NS}	0,3123 ^{NS}	0,6452 ^{NS}
IAPfc	Bloco	4,58e-08***	2,798e-11***	<2,2e-16***	<2e-16***
	Acondicionamento	0,004383*	1,601e-08***	0,008619**	0,5473 ^{NS}
	Horas	<2,2e-16***	<2,2e-16***	<2,2e-16***	<2e-16***
	Acondiciona*Horas	0,960094 ^{NS}	0,1502 ^{NS}	0,348506 ^{NS}	0,7583 ^{NS}

FV = Fonte de Variação

*Significativo a $p < 0,05$ ^{NS} Não significativo a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

A Figura 61 sumariza os resultados da entalpia nas diferentes estações do ano. O protótipo com forro apresentou significativamente ($p < 0,05$) menor valor de entalpia na primavera, verão e outono, enquanto que no inverno, esse tratamento não diferiu ($p < 0,05$) do

protótipo sem forro. A associação do forro permitiu reduzir a entalpia em 2,32, 5,50 e 2,15% na primavera, verão e outono, respectivamente.

Figura 61 – Entalpia no interior dos protótipos nas diferentes estações
Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste Tukey a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

A entalpia é uma grandeza termodinâmica que informa 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, altera a quantidade de energia no ar, afetando as trocas térmicas entre o animal e o ambiente (LOURENÇONI, 2013).

O forro formou uma terceira barreira contra a radiação solar, que junto com a camada de ar (intermediária) e o telhado (superior) constituem na resistência térmica total do protótipo. Conforme relatado anteriormente, o alumínio presente na camada superficial do forro refletiu parte da radiação emitida pelas telhas, transferindo assim, menores quantidades de energia para o interior do protótipo e consequentemente menor a entalpia.

Esse comportamento está atrelado aos resultados de temperatura ambiente e umidade relativa. No caso da primavera, foi identificado significância para essas duas variáveis térmicas, sendo que a temperatura ambiente foi menor no protótipo com forro, justificando assim, menor entalpia nessa instalação. Por outro lado, na estação de verão e outono, as umidades relativas dos protótipos não diferiram estatisticamente, enquanto que a temperatura do ar exibiu significância (menor no protótipo com forro). Assim, para essas duas estações, infere-se que a temperatura interna do ar possa ser o fator que explica a menor entalpia no protótipo com forro, pois segundo Lourençoni (2013) quando a umidade relativa do ambiente permanecer constante diante da mudança de temperatura, ou vice-versa, ocorre alteração na

energia envolvida no processo. Portanto, variações na entalpia serão registradas. Com relação ao inverno, pelo fato, dos protótipos não terem apresentado diferença estatística para as temperaturas ambientes e umidade relativas, infere-se que essa seja a conjectura que explica a não ocorrência de significância para entalpia nessa estação.

De acordo com Queiroz, Barbosa Filho e Vieira (2012) a entalpia de conforto térmico para aves de corte corresponde entre 77-88,3, 66,9-77, 57,7-66,9, 49,5-57,7, 39,6-54,9 e 37,4-52,1 kJ/kg de ar seco para primeira, segunda, terceira, quarta, quinta e sexta semana de vida, respectivamente. Com base nesses valores, foi elaborada a Figura 62, a qual classifica o ambiente térmico dos protótipos em cada estação climática, considerando as semanas de criação para frangos de corte. Nota-se, que na primavera o ambiente interno do protótipo com forro apresentou desconforto térmico por frio nas duas primeiras semanas e desconforto térmico por calor na quarta, quinta e sexta semana. Com relação ao protótipo sem forro, esse exibiu desconforto térmico por calor a partir da terceira semana.

Com relação ao verão, observa-se que o ambiente do protótipo com forro exibiu desempenho térmico semelhante ao protótipo sem forro, pois ambos apresentaram desconforto térmico por calor a partir da terceira semana, enquanto que na primeira semana os ambientes foram caracterizados por desconforto térmico por frio. Já para estação do outono, visualiza-se que as primeiras semanas de ambos os protótipos, apresentaram desconforto térmico por frio, enquanto que da quarta até a sexta semana os ambientes foram de desconforto térmico por calor. Para o inverno, os protótipos apresentaram comportamento semelhante, sendo que as três primeiras semanas foram de desconforto térmico por frio, enquanto que a última foi de desconforto térmico por calor.

Esses resultados revelaram que em todas as estações, os protótipos apresentaram mais desconforto térmico do que conforto para frangos de corte. No caso do inverno, existe maior necessidade com aquecimento do ambiente do que com o resfriamento, enquanto que o outono demanda aquecimento na fase inicial e resfriamento na fase final. Com relação à primavera e o verão, o ambiente dos protótipos necessitam de mais resfriamento do que aquecimento.

Embora o protótipo com forro tenha apresentado desconforto térmico por calor na primavera, verão e outono, é importante ressaltar que nessas estações esse tratamento exibiu significativamente menor valor de entalpia, revelando que esse ambiente demanda menor resfriamento quando comparado à testemunha.

Figura 62 – Classificação dos ambientes térmicos dos protótipos em função da entalpia. (a) primavera. (b) verão. (c) outono. (d) inverno.

Fonte: Própria autoria

O comportamento das entalpias, para os diferentes horários estudados, está descrito na Figura 63. Visualiza-se que esse índice apresentou efeito quadrático em todas as estações climáticas. Ao derivar as equações, nota-se que 13h17min, 14h10min, 13h36min e 13h10min são os horários em que ocorreram os maiores valores de entalpia para primavera, verão, outono e inverno, respectivamente.

Figura 63 – Comportamento da entalpia nas diferentes estações: (a) primavera. (b) verão. (c) outono. (d) inverno.

Fonte: Própria autoria

Para avaliar o desempenho térmico dos protótipos em função das horas, considerando um ciclo produtivo (42 dias) de frangos de corte, foi elaborada a Figura 64. Observa-se que na primavera 30,55% dos horários estudados corresponderam em situação de desconforto térmico por frio, 11,11% de conforto térmico e 58,33% das horas apresentaram ambientes em desconforto térmico por calor. No verão, as horas corresponderam em 22,22% de desconforto térmico por frio, 8,33% de conforto térmico e 69,44% de desconforto térmico por calor. Com relação ao outono, 41,66% das horas consistiram em desconforto térmico por frio, 25% em condições de conforto térmico e 33,33% significou desconforto térmico por calor. Já no inverno, foi constatado que 50% das horas apresentaram desconforto térmico por frio, 22,22% corresponderam em condições de conforto térmico e 27,77% resultou em desconforto térmico por calor.

Figura 64 – Desempenho térmico dos protótipos experimentais considerando um ciclo produtivo de aves de corte em função das horas: (a) primavera. (b) verão. (c) outono. (d) inverno.

Fonte: Própria autoria

Essa análise revelou que na primavera e no verão, os ambientes internos dos protótipos apresentaram desconforto térmico pelo calor, com início às 08h00min até 18h00min, dependendo de qual semana as aves de corte se encontram. Nessas estações, às primeiras semanas de vida das aves os ambientes dos protótipos exibiram problemas de frio, pois foi registrado desconforto térmico por frio em alguns horários estudados. Com relação ao outono e o inverno, o ambiente dos protótipos foram de desconforto térmico por calor no horário entre às 10h00min e 18h00min para quinta e sexta semana de vida, enquanto que para as

primeiras duas semanas foi diagnosticado desconforto térmico por frio para todos os horários avaliados.

O IAPfc é um índice estatístico de conforto térmico para avaliar o ambiente térmico para frangos de corte. A determinação desse índice considera a temperatura do ar, umidade relativa e a velocidade do ar. Dessa forma, a Figura 65 ilustra os resultados do fator acondicionamento para o IAPfc nas diferentes estações climáticas. Visualiza-se que o protótipo com forro apresentou diferença significativa ($p < 0,05$), sendo menor valor de IAPfc na primavera, verão e outono, enquanto que no inverno, os protótipos não diferiram. A associação do forro permitiu reduzir o IAPfc em 4,97, 8,43 e 3,75% na primavera, verão e outono, respectivamente.

Figura 65 – IAPfc no interior dos protótipos nas diferentes estações
Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste Tukey a $p < 0,05$

Fonte: Própria autoria

A não captação de significância no inverno, provavelmente, foi devido não ter registrado diferença estatística para temperatura ambiente e umidade relativa, conforme relatado anteriormente. Já no verão e no outono, a temperatura ambiente no interior dos protótipos foi o fator que influenciou o resultado desse índice térmico, pois nessas estações não foi diagnosticado diferença significativa para umidade relativa. Com relação à primavera, a temperatura ambiente e umidade relativa foram as variáveis que influenciaram no desempenho desse índice nos protótipos, pois foi constatada diferença estatística para essas variáveis térmicas.

De acordo com Medeiros et al. (2005) valores de IAPfc entre 21 a 24 qualifica o ambiente térmico em confortável; entre 19 a 25 e 25 a 27 moderadamente desconfortável;

abaixo de 19 e entre 28 a 30 desconfortável; entre 31 a 34 extremamente desconfortável e perigoso quando o IAPfc é igual ou superior a 35. Dessa maneira, na primavera, os ambientes térmicos dos protótipos foram qualificados como desconfortáveis. Já no verão, ambos os protótipos apresentaram ambientes térmicos extremamente desconfortáveis para frangos de corte. No outono e inverno, estações mais frias, os protótipos exibiram ambientes térmicos moderadamente confortáveis.

Com base nos valores de IAPfc dos protótipos, foi sintetizado a Tabela 44, a qual descreve segundo Medeiros et al. (2005), condições produtivas e fisiológicas de aves Avian Farm no período entre 22 aos 42 dias de idade, em função desse índice de conforto térmico. Nota-se, que o protótipo com forro, mesmo em condição desconfortável, apresentaria melhor desempenho produtivo aos 42 dias, pois teria um superávit de 48,8; 212 e 26,8 gramas quando comparado ao protótipo sem forro na primavera, verão e outono, respectivamente. Já no inverno, o desempenho produtivo das aves nos protótipos seria similar. Quanto ao desempenho fisiológico, observa-se que o protótipo com forro exibiria melhor desempenho nas estações quentes, primavera e verão.

Tabela 44 – Valores produtivos estimados em função do IAPfc para a fase de 22 aos 42 dias de idade para aves de corte

Estações	Protótipos	IAPfc	GPD (g)*	Peso (g) 42 dias	TR (°C)**	FR (respmin ⁻¹)***
Primavera	Forro	29,21	70,19	1403,8	41,4	62
	Sem Forro	30,74	67,75	1355,0	41,6	67
Verão	Forro	31,69	64,95	1299,0	41,7	73
	Sem Forro	34,61	54,35	1087,0	42,2	95
Outono	Forro	26,12	75,31	1506,2	41,2	50
	Sem Forro	27,14	73,97	1479,4	41,2	53
Inverno	Forro	25,36	76,29	1525,8	41,1	47
	Sem Forro	25,54	76,29	1525,8	41,1	47

*Ganho de peso diário; **Temperatura retal; ***Frequência respiratória

Fonte: Própria autoria

O comportamento do IAPfc nos diferentes horários estudados está descrito na Figura 66. Visualiza-se que o desempenho desse índice é explicado pelo efeito quadrático em todas as estações. Ao derivar as equações, nota-se que 13h40min, 14h49min, 13h14min e 13h20min

são os horários em que ocorreram os maiores valores de IAPfc para primavera, verão, outono e inverno, respectivamente.

Figura 66 – Comportamento do IAPfc nas diferentes estações: (a) primavera. (b) verão. (c) outono. (d) inverno.

Fonte: Própria autoria

A fim de classificar os horários com base nos valores de IAPfc, foi elaborada a Figura 67, a qual ilustra o desempenho térmico segundo a classificação de Medeiros et al. (2005). Observa-se que nas estações quentes (primavera e verão), às 08h00min foi o horário que apresentou conforto térmico, enquanto que nos demais horários, o ambiente foi desconfortável para aves. No caso do verão, nota-se que no horário das 14h00min e 16h00min, o ambiente térmico foi perigoso para aves de corte. Nas estações frias (outono e inverno), os horários foram menos acentuados quando comparado às estações quentes. No outono, os valores desconfortáveis foram registrados no período entre 12h00min e 16h00min, enquanto que no inverno foi diagnosticado desconforto às 08h00min, 12h00min e 14h00min.

Figura 67 – Desempenho térmico dos protótipos experimentais com base no IAPfc em função das horas.

Fonte: Própria autoria

5.4.4 Considerações parciais da fase 4

Os ensaios executados nos protótipos revelaram que a proposta de aplicação de um forro de saco de cimento e embalagens longa vida é eficiente em atenuar os índices térmicos para avicultura de corte. Para a temperatura superficial da telha e do forro, as análises experimentais descrevem que o material desenvolvido nesse estudo reduziu a quantidade de radiação transmitida para o interior dos protótipos.

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 na terceira e quarta semana de vida, enquanto que nas demais fases de criação ocorrem desconforto térmico. Embora o protótipo com forro tenha apresentado desconforto térmico para quinta e sexta semana de vida, maiores são as facilidades para ajustar o ambiente térmico, uma vez que esse apresenta menores valores de Entalpia. Para época de frio, inverno, o protótipo com forro apresenta desconforto térmico por frio, não sendo eficiente em reter calor.

Em relação ao IAPfc, em todas as estações do ano, o protótipo com forro apresentou ambiente desconfortável para aves de corte. No entanto, os valores produtivos estimados em

função desse índice, revelam que o ambiente térmico do protótipo com forro é mais complacente que o ambiente do protótipo sem forro.

6. CONCLUSÃO

Esse estudo revela o potencial de uso de sacos de cimento como matéria-prima na fabricação de painéis de partículas revestidos com embalagem longa vida com vistas de aplicação como forro em instalações avícolas.

A primeira fase do trabalho demonstrou que a desintegração de 15 sacos de cimento rendeu um total de 2,47 kg de partículas com 8% de umidade, sendo que as partículas apresentaram diferentes geometrias, com predominância para as que ficaram retidas na malha de 8 mm. Quanto à análise química das partículas, foi constatado alto teor de celulose e hemiceluloses, o que é desejável para que ocorra aderência química com as moléculas da resina durante a fabricação dos painéis. Embora esses polissacarídeos sejam relevantes para o processo de ligação química com a resina, esses compostos químicos tem alta afinidade com as moléculas de água, o que é indesejável para o desenvolvimento de um isolante térmico, uma vez que a absorção de água afeta negativamente as propriedades térmicas, mecânicas e físicas. Portanto, a primeira fase demonstrou que os sacos de cimento apresentam potencial de para fabricação de painéis particulados, desde que seja revestido de algum material que reduza absorção de água.

A segunda fase da pesquisa descreveu o efeito da densidade e teor de resina no desempenho físico, mecânico e térmico dos painéis de partículas. Para absorção de água, independente do fator densidade, para ambos os teores de resina (12 e 15%), os painéis exibiram conduta linear crescente durante o período de 24 horas, demonstrando a importância de aplicar um revestimento sobre o painel, uma vez que a umidade de conforto para frangos de corte está em torno de 50 a 70%. Com relação às propriedades mecânicas, o aumento na densidade promoveu maior elevação no módulo de ruptura e elástico, quando comparado à variação no teor de resina. Já para as propriedades térmicas, o aumento da densidade e do teor de resina afetou significativamente condutividade térmica, resistência térmica e fator solar. Entretanto, todos os tratamentos apresentaram valores de condutividade térmica que qualifica o material como isolante. Dentre os tratamentos avaliados, painéis com densidade de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ e teor de resina de 12% apresentaram melhor desempenho para aplicação como forro.

A terceira fase da pesquisa correspondeu na avaliação da embalagem longa vida e verniz como revestimento dos painéis com densidade de $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ e teor de resina de 12%. No caso da absorção de água, os painéis que foram revestidos com embalagem longa vida apresentaram menor valor para essa variável, o que é desejável para aplicação como forro em aviários. Quanto às propriedades térmicas, a inclusão das embalagens longa vida aos painéis,

permitiu melhoras significativas na condutividade térmica, resistência térmica e fator solar. Além disso, o alumínio das embalagens longa vida apresentou menor emissividade quando comparado à testemunha e o verniz. Com relação às propriedades mecânicas, o revestimento com a embalagem longa vida aumentou a resistência mecânica dos painéis, o que é desejável para assegurar segurança em caso de acidentes nos aviários. Portanto, o revestimento dos painéis com embalagem longa vida permitiu melhoras significativas para o material ser aplicado como forro em aviários.

A última fase consistiu em avaliar o desempenho térmico do painel revestido com embalagem longa vida em protótipos de aviários. A aplicação do material como forro proporcionou uma redução significativa 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, verão e outono, não apresentando eficiência no inverno.

Apesar do material (painel de partículas de saco de cimento revestido com embalagem longa vida) ter apresentado melhoras nos índices de conforto térmico para aves de corte, há perspectiva de continuidade por ser um material pouco estudado como painéis de partículas. Dentre os futuros estudos se destacam esses:

- a) Avaliar o material em instalações avícolas com escalas reais (galpões avícolas com dimensões normais);
- b) Avaliar o material como isolantes em outras instalações animais, tais como: bovinos, suínos, ovinos e caprinos;
- c) Avaliar o desempenho térmico do material aplicado em edifícios para humanos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABDOU, A.; BUDAIWI, I. The variation of thermal conductivity of fibrous insulation materials under different levels of moisture content. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 43, p. 533-544, 2013.

_____. **NBR02:135.07-001/1**: desempenho térmico de edificações parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2003. 7 p.

_____. **NBR02:135.07-001/2**: 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. Rio de Janeiro, 2003. 21 p.

_____. **NBR 14810/2006**: chapas de madeira aglomerada- parte 3: Métodos de Ensaio, terminologia. Rio de Janeiro, 2006. 32 p.

_____. **NBR 14810/2013**: Painéis de partículas de média densidade- parte 1: Terminologia, 2013. 5 p.

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 e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 59, n. 4, p. 1014-1020, 2007.

ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N. **Ventilação na avicultura de corte**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. 50 p.

ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers Michigan. 1990. 453 p.

AL-HOMOUD, M. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. **Building and Environment**, Kidlington, v. 40, p. 353-366, 2005.

AMERICAN NATIONAL STANDARD – ANSI. **ANSI A208.1**: particleboard. Gaithersburg, 1999. 13 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM C1371-04**: standard test method for determination of emittance of materials near room temperature using portable emissometers. West Conshohocken, 2004. 8 p.

_____. **ASTM E1530-11**: standard test method for evaluating the resistance to thermal transmission of material by the guarded heat flow meter technique. West Conshohocken, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL – ABPA. História da avicultura. Disponível em: < http://www.ubabef.com.br/a_avicultura_brasileira/historia_da_avicultura_no_brasil > Acesso em: 14 jan. 2015.

ASSUMPÇÃO, R. M. V. Polpação química. In: D'ALMEIDA, M. L. O. (Coord.). **Tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. cap. 6.

AYDIN, I. **Effects of some manufacturing conditions on wettability and bonding of veneers obtained from various wood species**. 2004. 270 f. Ph.D. Institute of Natural Science, Trabzon, Turkey, 2004.

AYRILMIS, N.; BUYUKSARI, U.; AVCI, E.; KOC, E. Utilization of pine (*Pinus pinea* L.) cone in manufacture of wood based composite. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 1, p. 65-70, 2009.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto térmico animal**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 269 p.

BAHAROGLU, M. et al. Effects of anatomical and chemical properties of wood on the quality of particleboard. **Composite: Part B**, Kidlington, v. 52, p. 282-285, 2013.

BARBOSA FILHO, J. A. D. **Caracterização quantitativa das condições bioclimáticas e produtivas nas operações pré-abate de frangos de corte**. 2008. 174 f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

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: 8 dez. 2014.

BEKTAS, I. et al. The manufacture of particleboards using sunflower stalks (*Helianthus annuus* L.) and poplar wood (*Populus alba* L.). **Journal of Composite Materials**, Lancaster, v. 39, n. 5, p. 467-473, 2005.

BERTOLINI, M. S. **Emprego de resíduos de *Pinus sp* tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona**. 2011. 129 f. Dissertação (Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais: EESC/IFSC/IQSC, Universidade São Paulo, USP, São Carlos.

BOND, T. E. et al. Evaluation of materials for livestock shades. **California Agriculture**, Berkeley, v.15, n. 1, p. 7-8, 1961.

BORGES, G. et al. Climate changes influence on inside thermal environment of broiler houses. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, BRASILIAN CONGRESS OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 37.; INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM - ILES, 8. 2008, Foz do Iguaçu, PR. **Proceedings...** Foz do Iguaçu, 2008. CD-ROM.

BRACELPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Dados e Estatística. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/index.php>> Acesso em: 20 fev. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio Brasil 2014/2015 a 2024/2025**. Brasília. 133 p.

BRITO, E. O.; PEIXOTO, G. L. Avaliação da granulometria de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 60-67, 2000.

BUDAIWI, I.; ABDON, A.; AL-HOMOUD, M. Variations of thermal conductivity of insulation materials under different operating temperatures: impact on envelope-induced cooling load. **Journal of Architectural Engineering**, Reston, v. 8, p. 125-132, 2002.

CALLISTER JR, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7. ed. São Paulo: LTC, 2008. 703 p.

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.

CANGEMI, J. M.; MARLI DOS SANTOS, A.; CLARO NETO, S. A revolução verde da mamona. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 3-8, 2010.

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

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

ÇÖPÜR, Y; GULER, C.; TASCIOGLU, C. Some chemical properties of hazelnut husk and its suitability for particleboard production. **Building and Environment**, Kidlington, v. 42, p. 2568-2572, 2007.

COUTINHO, F. M. B.; DELPECH, M. C. Poliuretanos como materiais de revestimento de superfície. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 9, n. 1, p. 41-48, 1999.

CRAVO, J. C. M. **Integradora no Estado de São Paulo**. 2010. 190 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Estadual Paulista, Dracena, 2010.

CRAVO, J. C. M. et al. Caracterização tipológica de aviários em uma integradora do estado de São Paulo. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural Sciences**, Belém, v. 55, n. 2, p. 154-158, 2012.

CRAVO, J. C. M. et al. Forro ecológico de resíduos agroindustriais para galpões avícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 8, p. 1466-1471, 2014.

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. (Coord.). **Tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. cap. 3.

DAMASCENO, F. A. et al. Mudanças climáticas e sua influência na produção avícola. **PUBVET**, Londrina, v. 4, n. 28, p. 01-22, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Metodologias para avaliação de alimentos para ruminantes domésticos**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2010. 21 p.

ESTADÃO. **Economia & negócios**. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/negocios+industria,tetra-pak-investe-r-200-milhoes-para-elevar-producao-em-45-ate-2015,10_1131,0.htm>. Acesso em: 22 fev. 2013.

FENGEL, D.; WEGENER, G. In: FENGEL, D.; WEGENER, G.; GRUYTER, W. **Wood chemistry, ultra structure, reactions**. Berlin: Wiley, 1984.

FERNANDO SANTOS, A. et al. Potencial de palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

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. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona – produção e propriedades. **Revista Acta Scientiarum**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 401-406, 2011.

FIORELLI, J. et al. Physico-chemical and anatomical characterization of residual lignocellulosic fibers. **Cellulose**, Dordrecht, v. 21, n. 5, p. 3269-3277, 2014.

FREIRE, C. S. et al. Propriedades físicas de painéis aglomerados comerciais confeccionados com bagaço de cana e madeira. **Floram**, Seropédica, v. 18, n. 2, p. 178-185, 2011.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico: arquitetura e urbanismo**. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 244 p.

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

GIGLIO, T. G. F. **Avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina – PR**. 2005, 170 f. Dissertação (Engenharia de Edificações e Saneamento), Universidade Estadual de Londrina, Paraná, 2005.

GOMES, R. C. C. et al. Conforto térmico em abrigos construídos com bambu utilizando diferentes coberturas. Disponível em: < http://www.prp.ueg.br/06u1/ctd/pesq/_inic_cienc/eventos/sic2007/flosnsic2007/arquivos/resumos/resumo113.pdf > Acesso em: 10 jan. 2009.

GUIMARÃES, D. P. et al. **Uso de redes neurais para projeção climática no Brasil:** temperatura mínima. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58117/1/Usos-redes.pdf> >. Acesso em: 25 set. 2013.

GULER, C.; COPUR, Y.; TASCIOGLU, C. The manufacture of particleboards using mixture of peanut (*Arachis hypogaea*) and European Black pine (*Pinus nigra* Arnold) wood chips. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 8, p. 2893-2897, 2007.

GUTEKIN, E.; KARAKUS, B. Feasibility of using eggplant (*Solanum melongena*) stalks in the production of experimental particleboard. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 27, n. 3, p. 354-358, 2008.

GWON, J. G. et al. Effects of chemical treatments of hybrid fillers on the physical and thermal properties of wood plastic composites. **Composites: Part A**, Kidlington, v. 41, n. 10, p. 1491-1497, 2010.

HASELEIN, C. R. et al. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 52, n. 2, p. 127-134, 2002.

IWAKIRI, S. et al. Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 487-493, 2008.

IWAKIRI, S. et al. Painéis de madeira aglomerada. In: IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. cap. 4.

IWAKIRI, S.; KEINERT, S. J.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Adesão e Adesivos. In: IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. cap. 1.

IWAKIRI, S.; KEINERT, S. J.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Painéis de madeira aglomerada. In: IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. cap. 4.

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.

JENTZSCH, R. D. S. **Estudo de modelos reduzidos destinados à predição de parâmetros térmicos ambientais em instalações agrícolas**. 2002. 113 f. Tese (Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

KHAZAEAIN, A.; ASHORI, A.; DIZAJ, M. Y. Suitability of sorghum stalk fibers for production of particleboard. **Carbohydrate Polymers**, v. 120, p. 15-21, 2015.

KHEDARI, J.; CHAROENVAI, S.; HIRUNLABH, J. New insulating particleboards from durian peel and coconut coir. **Building and Environment**, Kidlington, v. 28, n. 3, p. 435-441, 2003.

LACY, M. P.; CZARICK, M. Tunnel-ventilated broiler houses: Broiler performance and operating cost. **Journal of Applied Poultry Research**, Cary, v. 1, p. 104-109, 1992.

LI, X. et al. Effects of oxalic acid and steam pretreatment on the primary properties of UF-bonded rice straw particleboards. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 33, n. 3, p. 665-669, 2011.

LIANG, H. H.; HO, M. C. Toxicity characteristics of commercially manufactured insulation materials for building applications in Taiwan. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 1254-1261, 2007.

LIMA, A. F.; RODÉS, L.; PHILIPP, P. Alguns dados da história do papel. In: D'ALMEIDA, M. L. O. (Coord.). **Tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. cap. 1.

LIN, H. Thermoregulation responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures. **Poultry Science**, Cary, v. 84, p. 1173-1178, 2005.

LONGO, F. A. et al. Exigência energéticas para manutenção e para o crescimento de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 536-539, 2006.

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.

MARQUES, B. R.; MARTINS, L. J. R. **Poliuretano derivado de óleo de mamona: de meio ambiente a biocompatibilidade**. Disponível em: <<http://www.unisale.siano.edu.br/encontro2009/trabalho/aceitos/CC36939464859.pdf>> Acesso em: 15 ago. 2014.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. Painéis de madeira Brasil: panorama e perspectivas. **BNDS Setorial**, Brasília, v. 27, p. 121-156, 2008.

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.

MELLO, J. L. M. **Parâmetros fisiológicos e desempenho de frangos de corte criados sob condições simuladas de ondas de calor**. 2012. 55 f. Dissertação (Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.

MELO, R. R. et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casa de arroz. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449-460, 2009.

MELO, R. R.; MENEZZI, C. H. S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Silva Lusitana**, Portugal, v. 18, n. 1, p. 59- 73, 2010.

MENDONÇA SOUZA, E.; MICHELAN FILHO, T. 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 Textos, 2011. 206 p.

MICHELS, C.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S. Evaluation of heat flux reduction provided by use of radiant barriers in clay tile roofs. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 40, n. 4, p. 445-451, 2008.

MICHELS, C.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S. Avaliação do desempenho térmico de barreiras radiantes formadas através da união das embalagens de leite longa vida. In: IV ENCONTRO NACIONAL, 4.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2., 2007, Campo Grande. **Anais...** Campina Grande, 2007. p. 110-117.

MORAES, S. R. P. et al. Conforto térmico em galpões avícolas, sob coberturas de cimento – aminato e suas diferentes associações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 82-89, 1999.

MOURA, D. J. M. Ambiência da produção de aves de corte. In: SILVA, I. J. O. **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. v. 2, p. 75-148.

MOURA, D. J. M. **Avaliação da eficiência térmica de instalações avícolas com diferentes orientações, sombreamento e ventilação**. 1998. 204 f. Tese (Construções Rurais) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

MURPHY, G. C. E. **Similitude in engineering**. New York: Ronal Press, 1950.

NÄÄS, I. A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone, 1989. 183p.

NAVAL ENGINEERING STANDARD 713, Issue 3, Determination of the toxicity index of the products of combustion from small specimens of materials, 1985.

NDAZI, B.; TESHAI, J. V.; BISANDA, E. T. N. Some opportunities and challenges of producing bio-composites from non-wood residues. **Journal of Materials Science**, New York, v. 41, n. 21, p. 6984-6990, 2006.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger princípios de bioquímica**. 4. ed. São Paulo: Sarvier, 2006.

NEMLI, G. et al. Feasibility of incorporating waste grass clippings (*Lolium perenne* L.) in particleboard composites. **Waste Management**, v. 29, n. 3, p. 1129-1131, 2009.

NOGUEIRA, M. C. S. **Experimentação agrônômica I: conceitos, planejamento e análise estatística**. Piracicaba: M. C. S. Nogueira, 2007.

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, G. A. et al. Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho e as características de carcaça de frangos de corte dos 22 aos 42 dias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 4, 2006. p. 1398- 1405.

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.

OLIVEIRA, R. F. M. et al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 3, 2006. p. 797-803.

PANYAKAEW, S.; FOTIOS, S. New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 43, n. 7, p. 1732-1739, 2011.

PAPADOPOULOS, A. M. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 37, n. 1, p. 77-86, 2005.

PIRAYESH, H.; KHAZAEIAN, A. Using almond (*Prunus amygdalus* L.) shell as a bio-waste resource in wood based composite. **Composites: Part B**, v. 43, n.3, p. 1475-1479, 2012.

PIRAYESH, H.; KHAZAEIAN, A.; TABARSA, T. The potential for using walnut (*Juglans regia* L.) shell as a raw material for wood-based particleboard manufacturing. **Composites: Part B**, Kidlington, v. 43, n. 8, p. 3276-3280, 2012.

PLANETA CONSCIENTE. **O Tetra Pak da caixa de leite**. Disponível em: <<https://planetaconsciente.wordpress.com/category/tetra-pak/>>. Acesso em: 20 fev. 2015.

QUEIROZ, M. L.V.; BARBOSA FILHO, J. A.; VIEIRA, F. M. C. **Guia prático para utilização de tabelas de entalpia**. Disponível em: <http://www.neambe.ufc.br/index_downloads>. Acesso em: 10 fev. 2015.

RABELLO, C. B. et al. Efeito da temperatura ambiente e do sistema de criação sobre as exigências de energia metabolizável para manutenção de aves reprodutoras pesadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 382-390, 2004.

RAVEN, P. H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

RAZUKI, W. M. et al. Productive performance of four commercial broiler genotypes reared under high ambient temperatures. **International Journal of Poultry Science**, Faisalabad, v. 10, n. 2, p. 87-92, 2011.

REBOUÇAS, A. S. et al. Krafterra: tijolo ecológico. **E-xacta**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p. 43-47, 2011.

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

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and factors affecting fiber properties. In: NATURAL POLYMERS AND AGROFIBERS BASED COMPOSITES, 2000. **Anais...** São Carlos-SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2000.

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, v. 6, n. 1, p. 142-146, 2002.

SEVEGNANI, K. B. **Avaliação de tinta cerâmica em telhados de modelos em escala reduzida, simulando galpões para frangos de corte**. 1997. 74 f. Dissertação (Construções Rurais) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

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

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO. **Relatório anual**. 2012. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/relatorio_anual_2012-13_web.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2013.

TANGJUANK, S. Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves. **International Journal of Physical Sciences**, Victoria Island, v. 6, n. 19, p. 4528-4532, 2011.

TANGJUANK, S.; KUMFU, S. Particle boards from papyrus fibers as thermal insulation. **Journal of Applied Sciences**, Faisalabad, v. 11, n. 14, p. 2640-2645, 2011.

TAO, X.; XIN, H. Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broilers. **Agricultural and Biosystems Engineering**, Iowa State University, v. 46, n. 2, p. 491-497, 2003.

TETRA PAK. **Conheça as nossas embalagens cartonadas**. Disponível em:<<http://campaign.tetrapak.com/lifeofapackage/br/what-its-made-of/>> Acesso em: 20 fev. 2013.

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.

TINÔCO, I. F. F. Critérios para o planejamento de instalações avícolas para aves de postura. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E SISTEMAS DE PRODUÇÃO AVÍCOLA, 1998, Concórdia, SC. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1998. p. 57-72. (EMBRAPA-CNPSA, Documentos, 53).

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA - UBA. **Relatório anual**. São Paulo. 55 p.

UCHÔA, S. B. B. **Condutividade térmica da madeira**. 1989. 162 f. Dissertação (Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

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

WEI K, L.V. C et al. Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 116-122, 2015.

XU, J. et al. Manufacture and properties of low-density binderless particleboard from kenaf core. **Journal Wood Science**, Japan, v. 50, p. 62-67, 2004.

YAHAV, S. et al. Air velocity alters broiler performance under harsh environmental conditions. **Poultry Science**, Cary, v. 80, p. 724-726, 2001.

YAHAV, S. et al. Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh environmental conditions. **Poultry Science**, Cary, v. 83, p. 253-258, 2004.

ZERO HORA. **Perdas na avicultura no Rio Grande do Sul somam mais de R\$ 5,4 milhões**. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/campo-e-lavoura/noticia/2014/02/perdas-na-avicultura-no-rio-grande-do-sul-somam-mais-de-r-5-4-milhoes-4418964.html>>. Acesso em: 14 jan. 2015.

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

ZHOU, X. Y. et al. An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 42, p. 1070-1074, 2010.