UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

JULIO CESAR MACHADO CRAVO

**Compósito particulado de baixa densidade com casca de amendoim, fibra
de coco verde e resina poliuretana à base de óleo de mamona para aplicação
como forro de galpões avícolas**

Pirassununga/SP
2013

JULIO CESAR MACHADO CRAVO

VERSÃO CORRIGIDA

Compósito particulado de baixa densidade com casca de amendoim, fibra de coco verde e resina poliuretana à base de óleo de mamona para aplicação como forro de galpões avícolas

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

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Juliano Fiorelli

Pirassununga/SP
2013

DEDICATÓRIA

À minha família, especialmente a minha mãe Sônia Maria Machado, a qual lutou bravamente todos os dias de sua vida para me conceder a oportunidade de poder subir mais um degrau em minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, vosso pai supremo, por conceder a oportunidade de evoluir e aprimorar os conhecimentos do mundo acadêmico ao lado dos grandes mestres.

Aos meus mestres e conselheiros espirituais, os quais me guiaram desde a infância no caminho da humildade, respeito e simplicidade, aconselhando sempre nos momentos infortúnios.

A benevolência e apoio incondicional de todos os membros de minha família durante os momentos em que as pedras e espinhos obstruíam minha jornada.

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

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 e atenção na coorientação.

Ao Professor Dr. Wilson Nunes dos Santos, pela ajuda prestada no ensaio de condutividade térmica.

Aos amigos, Diogo de Lucca Sartori, Erika Yukari Nakanishi, Nubia Mireya Garzón Barrero, Zaqueus Dias de Freitas, Diego Luis Ferrari, 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 mestrado e pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa.

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

EPÍGRAFE

Se queremos progredir, não devemos repetir a história,
mas fazer uma história nova.

Mahatma Gandhi

RESUMO

CRAVO, J.C.M. Compósito particulado de baixa densidade com casca de amendoim, fibra de coco verde e resina poliuretana à base de óleo de mamona para aplicação como forro de galpões avícolas. 2013. 166 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

O presente trabalho considerou o potencial de utilização de resíduos da agroindústria como a casca de amendoim e fibra de coco verde com o intuito de agregar valor a este material, por meio da fabricação de compósito particulado de baixa densidade para uso como forro de galpões avícolas. Para a confecção do compósito foi utilizado a casca de amendoim, fibra de coco verde e resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona. O material foi avaliado por meio de ensaios físico-mecânicos: a) densidade, b) inchamento, c) absorção, d) módulo de ruptura, e) módulo de elasticidade e f) adesão interna; durabilidade: a) envelhecimento natural e b) envelhecimento acelerado; térmicos: a) condutividade térmica; b) fator de ganho de calor solar. Considerando os resultados obtidos nessa pesquisa, conclui-se que o compósito apresentou propriedades físico-mecânicas compatíveis com as necessidades de uso do material. Os ensaios de durabilidade demonstraram que as propriedades mecânicas do compósito são reduzidas após aplicação de ciclos de umidade e temperatura, no entanto, essa avaliação foi rigorosa e não representa as condições reais de exposição do compósito, em uso como forro de galpões avícolas. O contato prolongado com fontes de umidade acarretou o desenvolvimento de fungos no material, evidenciando a necessidade de aplicação de produto impermeabilizante na superfície do material, para reduzir a absorção de água. Pelo ensaio de condutividade térmica foi possível determinar o fator de ganho de calor solar o qual demonstrou que quando o compósito é aplicado como forro, ocorre uma redução significativa da transferência de radiação solar para o interior do aviário, comprovando o potencial do material para esse uso.

Palavras-chave: avicultura; construções rurais; sustentabilidade

ABSTRAT

CRAVO, J.C.M. Composite particles with low density peanut shell, coconut fiber and castor oil polyurethane resin for application as castor lining of poultry houses . 2013. 166 f. M. Sc. Dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

This study considered the potential use of agro waste like peanut hulls and coconut fiber in order to add value to this material through the manufacturing of composite particles of low-density liner for use as poultry houses. To make the composite was used for peanut shell, coconut fiber and bi-component polyurethane resin-based castor oil. The material was evaluated by physical-mechanical tests: a) density, b) swelling, c) absorbing, d) modulus of rupture, e) elastic modulus and f) internal adhesion, durability: a) natural aging b) Accelerated aging ; thermal: a) thermal conductivity b) factor of solar heat gain. Considering the results obtained in this study, it is concluded that the composite possess physical and mechanical properties compatible with the needs of use of the material. Durability testing showed that the mechanical properties of the composite are reduced after application of cycles of humidity and temperature, however, the evaluation was rigorous and does not represent the actual conditions of exposure of the composite in lining use as poultry houses. Prolonged contact with sources of moisture caused fungal growth in the material, indicating the need for application of sealer to the surface of the material, to reduce water absorption. For the thermal conductivity test was possible to determine the factor of solar heat gain which demonstrated that when the composite is applied as a lining, there is a significant reduction in the transfer of solar radiation into the poultry, demonstrating the potential of this material for use.

Keywords: poultry, rural buildings, sustainability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Projeções do segmento cárneo no Brasil	22
Figura 2. Variação da CTR ao longo do dia para diferentes sistemas de cobertura.....	28
Figura 3. (a) Frangos mortos por estresse térmico. (b) Necropsia de frango morto por estresse térmico	32
Figura 4. Variação do ITGU ao longo do dia.....	33
Figura 5. Variação da carga térmica radiante ao longo do dia	33
Figura 6. Resultados índices zootécnicos galpão com forro <i>vs</i> sem forro	34
Figura 7. Valores experimentais de ITGU – Moraes et al. (1999) <i>vs</i> Abreu et al. (2007)	35
Figura 8. Valores experimentais de CTR – Moraes et al. (1999) <i>vs</i> Oliveira et al. (2000).....	36
Figura 9. Principais tipos de painéis.....	39
Figura 10. Produção mundial de painéis de madeira.....	40
Figura 11. Produção brasileira de painéis de madeira.....	42
Figura 12. Evolução do preço dos painéis de madeira	43
Figura 13. Etapas gerais para produção dos painéis aglomerados	44
Figura 14. Classificação dos materiais isolantes	55
Figura 15. Índice de Toxicidade de diferentes materiais.....	56
Figura 16. Condutividade térmica de diferentes materiais	62
Figura 17. Esquema das temperaturas efetivas ambientais críticas.....	65
Figura 18. (a) Variação do ganho de peso em função do aumento da temperatura. (b) Variação do consumo de ração em função do aumento da temperatura	66
Figura 19. (a) Moinho de facas. (b) Malha de 8 mm.....	76
Figura 20. Determinação da quantidade de massa (resíduo) gasta por painel.....	77
Figura 21. (a) Pesagem dos resíduos (b) Separação das matérias-primas. (c) Híbrido	78
Figura 22. (a) Pesagem pré-polímero. (b) Incorporação do poliol. (c) Homogeneização	78
Figura 23. (a) Adição de resina. (b) Misturador	79

Figura 24. (a) Painel com papel alumínio. (b) Painel com molde 400mmX400mm. (c) Material pré-prensado. (d) Prensa hidráulica. (e) Painel híbrido. (f) Painel amendoim.....	80
Figura 25. Preparação dos corpos de prova.....	81
Figura 26. Pesagem dos corpos de prova	82
Figura 27. (a) Recipiente sem água. (b) Recipiente com água e corpos de prova.....	83
Figura 28. Medição da espessura dos corpos de prova	83
Figura 29. Corpos de prova submersos em água destilada.....	84
Figura 30. Esquema da casualização de todos os corpos de prova de um painel experimental	87
Figura 31. (a) Casualização inchamento e absorção. (b) Casualização densidade.....	87
Figura 32. Máquina Universal de Ensaio Mecânicos	88
Figura 33. (a) Medição largura. (b) Medição espessura.....	89
Figura 34. (a) Apoios da máquina. (b) Corpo de prova posicionado. (c) Corpo de prova rompido.....	89
Figura 35. Fixação do corpo de prova	91
Figura 36. (a) Corpo de prova posicionado. (b) Corpo de prova rompido	91
Figura 37. Microscópio Eletrônico Varredura.....	93
Figura 38. Corpo de prova no Microscópio Eletrônico de Varredura	94
Figura 39. (a) Corpos de prova pintados com Stain. (b) Stain	95
Figura 40. Fixação dos corpos de prova	95
Figura 41. Estação meteorológica	96
Figura 42. (a) Corpos de prova imerso em banho maria. (b) Corpos de prova na estufa. (c) Corpos de prova na termotron	97
Figura 43. (a) Corpo de prova. (b) Formação dos sucos. (c) Resistência e termopar	99
Figura 44. Corpo de prova sobreposto pela barra de metal	99
Figura 45. Representação do telhado de fibrocimento pintado de branco e forro híbrido para um galpão avícola.....	101
Figura 46. Gráficos com diferentes valores do As para uma distribuição.....	105

Figura 47. Gráfico dos diferentes graus de achatamento relativos a uma distribuição de frequência	105
Figura 48. Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais.....	107
Figura 49. Valores experimentais e normalizados de densidade.....	107
Figura 50. (a) Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais Inchamento 2 horas. (b) Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais Inchamento 24 horas	111
Figura 51. Valores médios experimentais de inchamento 2 horas e dados da literatura.....	112
Figura 52. Valores médios experimentais de inchamento 24 horas e dados da literatura.....	112
Figura 53. (a) Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais Absorção 2 horas. (b) Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais Absorção 24 horas	115
Figura 54. Valores médios experimentais de absorção 2 horas e dados da literatura	116
Figura 55. Valores médios experimentais de absorção 24 horas e dados da literatura	117
Figura 56. (a) Conjuntos de dados dos painéis experimentais Módulo de Ruptura. (b) Conjuntos de dados dos painéis experimentais Módulo de Elasticidade	121
Figura 57. Valores médios experimentais de módulo de ruptura e dados da literatura.....	123
Figura 58. Valores médios experimentais de módulo de elasticidade e dados da literatura .	124
Figura 59. Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais – Adesão Interna	127
Figura 60. Valores médios experimentais (AI) e dados da literatura	129
Figura 61. Imagem dos painéis experimentais. (a) painel híbrido (100x) e (b) painel casca de amendoim (200x).....	131
Figura 62. (a) Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais MOR. (b) Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais MOE.....	134
Figura 63. (a) Valores médios experimentais da radiação solar. (b) Valores médios experimentais da radiação ultravioleta	136
Figura 64. Temperatura dos corpos de prova em dia típico de verão.....	137
Figura 65. Presença de Fungos	138
Figura 66. (a) Corpo de prova - híbrido exposto ao campo de envelhecimento natural no dia 21 de dezembro de 2011. (b) Corpo de prova - híbrido exposto ao campo de envelhecimento natural no dia 21 de junho de 2012.....	139

Figura 67. (a) corpos de prova após o envelhecimento acelerado. (b) Coloração preta no corpo de prova	140
Figura 68. (a) corpo de prova após o envelhecimento natural; (b) corpo de prova após o envelhecimento acelerado; (c) corpo de prova não envelhecido	141
Figura 69. Valores médios de condutividade térmica	147
Figura 70. Valores médios de resistência térmica: experimentais e dados da literatura	148
Figura 71. Valores médios de transmitância térmica: experimentais e dados da literatura ..	149
Figura 72. Variação da radiação solar no interior dos ambientes para diferentes horários...	151
Figura 73. Instalação avícola.....	152
Figura 74. Detalhamento da estrutura de cobertura com forro de painel de partícula híbrido	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperatura entre 2071 e 2100 no Brasil	23
Tabela 2 - Estimativa de herdabilidade	26
Tabela 3 - Consumo de Ração e Mortalidade.....	26
Tabela 4 - Variação da CTR ao longo do dia	28
Tabela 5 - Variação da CTR ao longo do dia	29
Tabela 6 - Desempenho térmico de telhas	30
Tabela 7 - Desempenho térmico de coberturas não convencionais	31
Tabela 8 - Valores experimentais de CTR e ITGU	37
Tabela 9 - Valores experimentais de ITGU	37
Tabela 10 - Consumo Mundial de Painéis de madeira	39
Tabela 11 - Consumo de Painéis de Madeira no Brasil.....	42
Tabela 12 - Classificação dos adesivos	45
Tabela 13 - Propriedades físico-mecânicas de painéis de partículas de madeira	47
Tabela 14 - Propriedades físico-mecânicas de painéis de partículas	48
Tabela 15 - Ácidos graxos no óleo de mamona.....	49
Tabela 16 - Biomassas utilizadas como painéis particulados	51
Tabela 17 - Condutividade térmica de materiais isolantes	57
Tabela 18 - Propriedades mecânicas e térmicas de painéis de partículas com diferentes densidades.....	59
Tabela 19 - Variação da condutividade térmica em função da densidade.....	59
Tabela 20 - Propriedades físicas e térmicas.....	60
Tabela 21 - Propriedades mecânicas e térmicas de painéis de partículas com diferentes densidades.....	61
Tabela 22 - Propriedades físicas e térmicas de painéis de partículas com diferentes densidades	61
Tabela 23 - Simulação para o desempenho de frangos de corte em ambiente com 25°C	67
Tabela 24 - Simulação para o desempenho de frangos de corte em ambiente com 16°C	68

Tabela 25 – Influência da idade de abate de frangos de corte ao longo do ano	69
Tabela 26 - Dimensão e Quantidade dos Corpos de Prova	81
Tabela 27 - Dados inseridos no <i>software</i>	99
Tabela 28 - Dados de entrada para o cálculo do Fator Solar	101
Tabela 29 - Resumo dos valores experimentais - densidade	106
Tabela 30 - Pressuposição ANOVA	108
Tabela 31 - ANOVA - Densidade	108
Tabela 32 - Resumo dos valores experimentais - inchamento	109
Tabela 33 - Valores médios de inchamento experimental e da literatura.....	111
Tabela 34 - Pressuposição ANOVA	113
Tabela 35 - ANOVA – Inchamento 2 horas	113
Tabela 36 - ANOVA – Inchamento 24 horas	113
Tabela 37 - Resumo dos valores experimentais - absorção	114
Tabela 38 - Valores médios de absorção experimental e da literatura	116
Tabela 39 - Pressuposição ANOVA	118
Tabela 40 - Teste de <i>Mann-Whitney</i> – Absorção 2 horas	118
Tabela 41 - ANOVA – Absorção 24 horas.....	119
Tabela 42 - Médias experimentais com a retirada do <i>outlier</i>	119
Tabela 43 - Valores médios experimentais – Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade	120
Tabela 44 - Valores médios de MOR e MOE - experimentais e literatura.....	122
Tabela 45 - Pressuposição ANOVA	124
Tabela 46 - ANOVA – MOR	125
Tabela 47 - Médias experimentais	125
Tabela 48 - Teor de Celulose e Lignina	125
Tabela 49 - ANOVA – MOE.....	126
Tabela 50 - Médias experimentais com a retirada do <i>outlier</i>	126

Tabela 51 - Valores experimentais médio de adesão interna	127
Tabela 52 - Valores médios de adesão interna extraídos da literatura	128
Tabela 53 - Pressuposição ANOVA	129
Tabela 54 - ANOVA – Adesão Interna	130
Tabela 55 - Médias experimentais	130
Tabela 56 - Valores experimentais de MOR – Painel Híbrido	132
Tabela 57 - Valores experimentais de MOE – Painel Híbrido	133
Tabela 58 - Valores médios das variáveis climáticas	135
Tabela 59 - Pressuposição ANOVA	141
Tabela 60 - Teste de Kruskal-Wallis - MOR.....	142
Tabela 61 - Teste de Dunn - MOR	142
Tabela 62 - Teste de Kruskal-Wallis - MOE.....	144
Tabela 63 - Teste de Dunn - MOE	144
Tabela 64 - Resultados experimentais – Fio Quente Paralelo	145
Tabela 65 - Valores de condutividade térmica de diferentes materiais e painéis de partículas	146
Tabela 66 - ANOVA – Quantidade de radiação solar nos aviários simulados.....	149
Tabela 67 - Equações de Regressão dos ambientes e os respectivos coeficientes de determinação.....	150
Tabela 68 - Valores médios experimentais da radiação solar transmitida.....	151

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS.....	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1 Desempenho econômico e desafio climático para avicultura de corte	21
3.2 Instalações avícolas.....	24
3.3 Coberturas.....	27
3.4 Forro.....	31
3.5 Painéis de partícula de madeira reconstituída.....	38
3.6 Painéis aglomerados de madeira – histórico	40
3.7 Painéis aglomerados de madeira – aspecto econômico	41
3.7.1 Processo de produção de painéis de madeira aglomerada.....	43
3.8 Resinas utilizadas na produção de painéis de partículas aglomeradas	44
3.9 Painéis aglomerados à base de resíduos agroindustriais.....	51
3.10 Aplicação de painéis aglomerados à base de resíduos agroindustriais como isolamento térmico.....	55
3.11 Estresse térmico em frangos de corte.....	62
3.12 Radiação solar e fechamentos opacos.....	70
3.13 Conclusão da revisão	72
4. HIPÓTESES	73
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	74
5.1 Local do experimento	75
5.2 Materiais	75
5.3 Produção dos painéis de partículas	75
5.4 Preparação dos corpos de prova.....	80
5.5 Ensaio físico-mecânico	81
5.5.1 Ensaaios físicos	81

5.5.1.1	Densidade	82
5.5.1.2	Inchamento	82
5.5.1.3	Absorção.....	84
5.5.1.4	Análise experimental.....	85
5.5.2	Ensaio mecânico	88
5.5.2.1	Resistência e módulo de elasticidade à flexão	88
5.5.2.2	Adesão interna.....	90
5.5.2.3	Análise experimental.....	92
5.6	Análise microestrutural.....	93
5.7	Ensaio de durabilidade	94
5.7.1	Envelhecimento natural	94
5.7.2	Envelhecimento Acelerado.....	96
5.7.3	Análise experimental	97
5.8	Ensaio condutividade térmica	98
5.8.1	Análise estatística condutividade térmica.....	100
5.9	Fator de ganho de calor solar de elementos opacos.....	100
5.9.1	Análise experimental	102
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	104
6.1	Ensaos físicos.....	104
6.1.1	Densidade	104
6.1.2	Inchamento	109
6.1.3	Absorção	114
6.2	Ensaos mecânicos	119
6.2.1	Módulo de ruptura e Módulo de elasticidade	120
6.2.2	Adesão interna	126
6.3	Análise microestrutural.....	130
6.4	Seleção do material	131

6.5	Durabilidade.....	132
6.5.1	Análise visual	134
6.6	Condutividade térmica	145
6.7	Fator de ganho de calor solar	148
6.8	Representação gráfica de uma instalação avícola com painel híbrido aplicado como forro	152
7.	CONCLUSÕES	154
7.1	Propriedades físico-mecânicas.....	154
7.2	Análise microestrutural	154
7.3	Durabilidade.....	154
7.4	Condutividade térmica	155
7.5	Fator de ganho de calor solar	155
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156

1. INTRODUÇÃO

A avicultura de corte brasileira ostenta hoje o patamar de maior exportador de carne de frango, posição essa alcançada desde 2004. Apesar da crise econômica dos últimos anos, o setor avícola brasileiro conseguiu se desenvolver e se mantém hoje como referência mundial, demonstrando que, mesmo em momentos de dificuldade econômica, o Brasil apresenta potencial nesse setor agrícola. Esse dinamismo é comprovado pelos ótimos números cambiais relacionados com essa atividade econômica, pois de acordo com a União Brasileira de Avicultura (2011) as exportações brasileiras de carne de frango somaram 3,9 milhões de toneladas, um crescimento de 2,7% em relação a 2010.

Para os próximos anos há previsão de um mercado avícola favorável e animador, pois segundo o estudo sobre Projeções do Agronegócio 2011/2012 a 2021/2022 efetuado pelo MAPA (2012), dentre as carnes que projetarão maiores taxas de crescimento entre o período de 2011/2012 a 2021/2022, é a carne de frango, a qual deve crescer anualmente a 4,2%, enquanto que as exportações a uma taxa anual de 3,0%.

Essas projeções futuras atestam cenário favorável para avicultura nos próximos anos. Mas para que o Brasil possa se manter consolidado e eficiente nesse cenário, é necessário que o segmento avícola, planeje e se organize, estabelecendo congruência entre a produção e a demanda. Porém, o país se depara com desafios à medida que atinge novos patamares de produtividades. Segundo Macari (2001) o Brasil, por ser um país tropical, apresenta altas temperaturas e alta umidade relativa do ar, fatores ambientais que são desfavoráveis para criação de aves, levando ao desencadeamento de estresse térmico, prejudicial à rentabilidade do processo produtivo.

Quando a ave desencadeia estresse térmico, ocorrem compensações fisiológicas que afetam diretamente a produção desses animais, que ao invés de empregar os nutrientes para a síntese, utilizam para produzir ou dissipar calor. No entanto, quando não ocorre nenhum desperdício de energia, seja para combater o frio ou combater o excesso de calor do ambiente, a ave estará em condições de conforto e, conseqüentemente, de produtividade máxima, ou seja, maior rentabilidade (TINÔCO, 2001).

Esse problema é muito representativo, pois o país chega a perder cerca de 25 milhões de dólares em produção de proteína animal (carne, leite e ovos) a cada 10 dias de altas temperaturas, em torno de 35 °C (NÄÄS, 2003). Portanto, é necessário que os profissionais e produtores tenham cautela e atenção em relação ao ambiente que as aves estão inseridas.

Para evitar que altos investimentos em genética e nutrição não sejam neutralizados pelo binômio (temperatura e umidade relativa), é importante que os agentes da cadeia avícola não negligenciem as corretas diretrizes construtivas para instalações e que ao mesmo tempo empreguem de forma sinérgica, estratégias de manejo que visem equacionar o processo produtivo, para assim traduzir em altos índices zootécnicos (CRAVO, 2009).

Os materiais de cobertura representam um dos principais fatores que interferem, no conforto térmico ambiental de instalações avícolas. No entanto, melhores desempenhos são conseguidos por meio da associação de aspersão de água sobre o telhado, uso de materiais isolantes ou reflexivos sob a cobertura, ou, ainda, a utilização de forros (MORAES, 2002).

O forro permite a formação de camada de ar junto à cobertura e contribui com a redução da transferência de calor para as aves. Durante o período frio, a presença do forro, permite a manutenção de maiores temperaturas nos galpões avícolas, reduzindo o custo com o aquecimento. Já no verão, o forro evita que o calor do ático passe para a instalação, assegurando menores temperaturas (CZARICK e FAIRCHILD, 2009).

Baseado nessa premissa, diversas pesquisas foram e vem sendo desenvolvidas com o objetivo de investigar o material que proporcione melhor ambiente térmico para galpões avícolas. Dentro desse contexto, os painéis particulados aglomerados de baixa densidade para uso como forro de galpões avícolas, podem ser considerados uma alternativa e será objeto de estudo nesse trabalho.

Segundo Iwakiri (2005), painéis particulados aglomerados, comercialmente denominados de “aglomerado”, é um painel produzido com partículas de madeira, com a incorporação de um adesivo sintético ou outro aglomerante, sendo o conjunto prensado a quente, por tempo suficiente para que a cura de resina se efetue. Os painéis particulados aglomerados se classificam em MDP (*Medium Density Particleboard*), Fineboard e OSB.

A aplicação desses materiais em instalações zootécnicas é um campo pouco explorado até o presente momento. A literatura apresenta o trabalho de Cravo et al. (2009) que estudaram o conforto térmico de protótipos de galpões avícolas em escala reduzida e distorcida com sistema de cobertura modular em madeira, painel de partícula OSB e telha reciclada. Os autores diagnosticaram redução na temperatura superficial interna do forro do protótipo com painel OSB, porém constataram baixa eficiência para os índices de conforto térmico. Como conclusão os autores sugerem a perspectiva de novos trabalhos de pesquisa, com associação de outros materiais isolantes.

Segundo Rowell et al. (2000) os painéis de partículas também podem ser fabricados a partir de qualquer material lignocelulósico que lhes confirmem resistência mecânica e peso

específico pré-estabelecido, já que a composição química dos materiais lignocelulósicos é semelhante à da madeira, mais precisamente com a das madeiras duras que contêm menor teor de lignina e maior teor de hemiceluloses do tipo pentosanas.

Segundo Bektas et al. (2005) mais de 30 plantas foram estudadas para a fabricação de painéis particulados. No momento, a literatura demonstra diversos estudos utilizando resíduos agroindustriais como: caule de girassol, palha de trigo, bagaço de cana-de-açúcar, bambu, casca de algodão, casca de amendoim, fibra da casca do coco, entre outros.

Para a agroindústria brasileira esse cenário é favorável, pois o país apresenta inúmeros resíduos lignocelulósicos com potencial de aproveitamento para a fabricação de novos materiais, como por exemplo, a casca de amendoim (PABLO et al., 1975; CARASCHI et al., 2009 e GATANI, 2009) e a fibra da casca do coco verde (VANDAN, 2002; VANDAN et al., 2003; PANYAKAEW e FOTIOS, 2011 e FIORELLI et al. 2012).

Ante o exposto, esse trabalho teve como objetivo desenvolver um material compósito particulado à base de casca de amendoim, fibra da casca do coco verde e resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona e avaliar tecnicamente a viabilidade de utilização desse novo produto como forro de instalações avícolas.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa foi fabricar compósito particulado de baixa densidade à base de resíduos agroindustriais como a casca de amendoim e fibra da casca do coco verde, associadas à resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona e avaliar tecnicamente a viabilidade de utilização do novo produto como forro de instalações avícolas.

Quanto aos objetivos específicos do trabalho foram:

- Fabricar compósito particulado de baixa densidade à base de resíduos agroindustriais como casca de amendoim e resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona;
- Fabricar compósito particulado híbrido com casca de amendoim e fibra de coco verde e resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona;
- Determinar propriedades físico-mecânicas dos painéis de casca de amendoim e híbrido;
- Comparar o desempenho (físico-mecânico) entre os painéis de casca de amendoim e híbrido;
- Análise microestrutural dos painéis de casca de amendoim e híbrido;
- Avaliar a durabilidade do compósito híbrido;
- Determinar a condutividade térmica do compósito;
- Calcular o Fator de Ganho Solar, por meio de simulação numérica, em galpões avícolas cobertos com telha de fibrocimento pintadas de branco e forro à base de compósito híbrido;
- Representação gráfica de uma instalação avícola empregando o compósito híbrido como forro.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Desempenho econômico e desafio climático para avicultura de corte

Segundo dados da USDA (2011), a produção mundial de carne totalizou 244.320 milhões de toneladas, com destaque para a avicultura que apresentou crescimento de 3,27% entre os anos de 2010 e 2011. Com relação ao consumo, segundo a mesma fonte, a carne avícola foi a que exibiu maior crescimento no período entre 2010 e 2011, com aproximadamente 3,03%.

No âmbito desse cenário avícola, o Brasil, se destaca como ator principal, pois cabe lembrar que desde 2004, o país ostenta a posição de maior exportador de carne de frango do mundo, ou seja, são sete anos de liderança nesse segmento. No final de 2011, de acordo com a União Brasileira de Avicultura, as exportações brasileiras de carne de frango somaram 3,9 milhões de toneladas, um crescimento de 2,7% em relação a 2010.

No contexto do agronegócio brasileiro, a avicultura de corte representa à atividade com maior expressão no segmento cárneo, pois esse setor deteve em 2010 cerca de 66,40% das exportações de carne brasileira, contra 21,39%; 9,39%; 2,74% e 0,07%, respectivamente para carne bovina, suína, peru e outras aves (UBABEF, 2011).

Além disso, cabe ressaltar que a avicultura brasileira emprega de forma direta ou indireta cerca de 4,5 milhões de pessoas, gerando 20 bilhões de dólares em movimento econômico e representa 1,5% do PIB nacional (FIESP, 2012).

Para os próximos anos as projeções para o setor avícola brasileiro são animadoras, segundo dados do estudo sobre Projeções do Agronegócio Brasil 2011/12 a 2021/22. Esse estudo englobou projeções futuras para produção, consumo, exportação, importação e área plantada, durante o período de 2011/12 a 2021/22. De acordo com essa pesquisa, entre a carne que projeta maior taxa de crescimento anual quanto à produção, ao consumo e exportação, é a carne de frango, com 4,2%, 2,7% e 3%, respectivamente (Figura 1).

(a) Projção de produção

(b) Projção de consumo

(c) Projção de exportação

Figura 1. Projeções do segmento cárneo no Brasil

Fonte: Dados extraídos Projeções do Agronegócio Brasil 2011/12 a 2021/22

Embora as projeções futuras para essa atividade sejam otimistas, os modelos de séries temporais utilizados na pesquisa do MAPA estão sujeitos as incertezas, como por exemplo,

mudanças climáticas severas, a qual poderá afetar negativamente o cenário futuro da avicultura brasileira, uma vez que segundo Damasceno et al. (2011) as variações climáticas serão um desafio para manter a produção avícola, visto que as aves, animais homeotérmicos, são susceptíveis a pequenas mudanças na temperatura, comprometendo de forma negativa seu desempenho produtivo.

Para os próximos anos, as informações referentes à temperatura ambiente não são nada animadoras, pois de acordo com o Quarto Relatório do IPCC de Avaliações das Mudanças Climáticas do planeta, haverá um aumento médio das temperaturas entre 1,8 °C e 4 °C até 2100 (ALLEY et al., 2007).

Segundo o Relatório sobre a Caracterização do Clima no Século XX e Cenários no Brasil e na América do Sul para o século XXI, derivados dos Modelos de Climas do IPCC, elaborado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), em colaboração com o Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (USP/IAG), e da Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (FBDS), a temperatura do ar deverá subir nas regiões territoriais do Brasil, entre 2071 e 2100. Esses valores estão sumarizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Temperatura entre 2071 e 2100 no Brasil

Cenário	Região	Temperatura
A2*	Amazônia	4 a 8 °C
B2**		3 a 5 °C
A2*	Nordeste	4 °C
B2**		2 a 3 °C
A2*	Centro-Oeste	4 a 6 °C
B2**		2 e 3 °C
A2*	Sudeste	4 a 6 °C
B2**		2 e 3 °C
A2*	Sul	3 a 4 °C
B2**		2 e 3 °C

Cenário A2* = descreve um mundo futuro muito heterogêneo onde a regionalização é dominante. Existiria um fortalecimento de identidades culturais regionais, com ênfase em valores da família e tradições locais. Outras características são um crescimento populacional alto, e menos preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido;

Cenário B2** = é o cenário que descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais à sustentabilidade econômica, social e ambiental. A mudança tecnológica é mais diversa com forte ênfase nas iniciativas comunitárias e inovação social, em lugar de soluções globais.

Fonte: Caracterização do Clima no Século XX e Cenários no Brasil e na América do Sul para o século XXI derivados dos Modelos de Climas do IPCC

Para as próximas décadas, o governo brasileiro e os produtores avícolas precisam ficar em alerta, pois de acordo com a AVEWORLD (2011) a avicultura brasileira será a atividade agrícola que sofrerá maior impacto econômico, devido aos aumentos da temperatura, podendo o país perder a hegemonia do mercado, nos próximos 25 anos.

Considerando o problema térmico dos aviários e a produção de resíduos no campo, torna-se necessário buscar alternativas que possam ao mesmo tempo, mitigar as altas temperaturas internas nos galpões avícolas e reduzir a queima dos resíduos agrícolas, uma vez que segundo Guler et al. (2007) a agricultura tem uma participação no aquecimento global, pelo fato, dos resíduos agrícolas serem queimados no campo. Segundo Swart et al. (2003) o desenvolvimento sustentável é a melhor maneira para prevenir os impactos das mudanças climáticas.

Diante desse cenário, se insere o estudo dos compósitos particulados com perspectiva de aplicação no setor agropecuário, pois o aproveitamento dos resíduos agrícolas resulta em vários benefícios ambientais e econômicos, ou seja, a produção de um forro para os aviários à base desses resíduos resultaria em vantagens para produção avícola e agregaria valor a esse subproduto agrícola.

Portanto, para que a avicultura brasileira continue mantendo seu status econômico nacional e internacional no futuro, é relevante que novos estudos sejam conduzidos, com o intuito de diagnosticar tecnologias rentáveis que possam assegurar ambientes adequados para as aves, tornado possível a expressão de seu material genético.

3.2 Instalações avícolas

De acordo com Nääs (1989), a principal razão para a construção de uma instalação zootécnica esta relacionada com a proteção contra as intempéries climáticas, ou seja, o sistema construtivo deve ter a finalidade de oferecer um ambiente confortável para os animais. Segundo a autora, quando uma instalação zootécnica não fomenta ambiente

adequado aos animais, ocorrem disfunções na homeotermia, acarretando alterações significativas na eficiência produtiva.

Para Sevegnani et al. (1994) as instalações zootécnicas tem como intuito proporcionar conforto aos animais. Além disso, os autores ressaltam que elas devem ser edificadas com a finalidade principal de diminuir a influência dos elementos climáticos (insolação, temperatura, ventos, chuva e umidade do ar) sobre os animais, para que dessa forma possa assegurar bons índices zootécnicos no sistema produtivo vigente.

Quando o ambiente da instalação não é confortável para os animais, 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 definidamente influenciada por vários pares de genes com pequenos efeitos aditivos, ou seja, o fenótipo de determinada característica produtiva (peso corporal, conversão alimentar, rendimento de peito, rendimento de pernas entre outras) é resultante do valor genotípico, meio ambiente e interação entre os dois.

O ganho genético de uma característica é estimado pela herdabilidade, que corresponde o valor genético da característica. Por exemplo, se a herdabilidade de peso vivo corresponder a 0,4, isso significa que 40% são atribuídas às variações genéticas e 60% variação de ambiente (outros fatores não genéticos) (MICHELAN FILHO E MENDONÇA DE SOUZA, 2004).

Vayego et al. (2008) estudaram estimativas e tendências genéticas para algumas características de importância econômica em linhagens paternas de frangos de corte. Os autores constataram valores de herdabilidade de 0,37; 0,53; 0,33; 0,29; para peso corporal aos 42 dias de idade, comprimento de peito aos 42 dias, largura maior do peito, largura menor do peito, respectivamente.

A Tabela 2 sumariza estimativas das herdabilidades para algumas características importantes em avicultura de corte encontradas na literatura. Observa-se que as características produtivas são de moderadas a alta e, para as características reprodutivas, são de baixas a moderadas (MICHELAN FILHO E MENDONÇA DE SOUZA, 2004).

Tabela 2 - Estimativa de herdabilidade

Característica	Estimativa de Herdabilidade
Peso Corporal	0,40 - 0,70
Conversão Alimentar	0,25 - 0,50
Gordura Abdominal	0,50 - 0,80
Carcaça Eviscerada	0,30 - 0,50
Rendimento de Peito	0,45 - 0,60
Rendimento de Pernas	0,35 - 0,70
Peso do Ovo	0,46 - 0,70
Maturidade Sexual	0,25 - 0,40
Produção de Ovos	0,15 - 0,35
Viabilidade	< 0,15
Eclodibilidade	< 0,20
Fertilidade	< 0,15

Fonte: Michelan Filho e Mendonça de Souza, 2004

Além disso, as linhagens atuais (rápido crescimento) que são utilizadas na produção são susceptíveis ao calor. Razuki et al. (2011) avaliaram o desempenho produtivo de quatro genótipos (Rose, Cobb, Hubbard e Lohmann) comerciais criados em altas temperaturas ambientes. Os autores constataram pior desempenho para o genótipo Rose e Cobb, pois essas linhagens tiveram maior taxa de mortalidade. Os autores concluem que essas características são afetadas pelos genótipos (Tabela 3).

Tabela 3 - Consumo de Ração e Mortalidade

Genótipo	Consumo de Ração gramas			Mortalidade %		
	0-28 dias	29-49 dias	0-49 dias	0-28 dias	29-49 dias	0-49 dias
Rose	1664	2656	4320	5,79	11,27	17,05
Cobb	1610	2703	4314	4,07	11,08	15,15
Hubbard	1719	3074	4793	0,57	7,67	8,29
Lohmann	1564	2720	4284	2,31	6,61	8,92

Fonte: Razuki et al. (2011)

Esses trabalhos comprovam a importância das instalações zootécnicas em proporcionar um ambiente confortável aos animais. Mas fica uma dúvida: Quais são os fatores que determinam o ambiente interno de uma instalação?

A resposta para essa pergunta está alicerçada na afirmação de Baêta (1997). Segundo esse autor o ambiente de uma determinada instalação depende dos seguintes fatores: condições locais externas, características construtivas, materiais de construções empregados,

espécie, número de animais alojados, manejo e modificações causadas pelos equipamentos do sistema produtivo.

Considerando que nos sistemas semi-intensivo e intensivo as aves ficam confinadas nos aviários desde o alojamento até ao abate (42 dias), torna-se necessário com base na afirmação de Nääs (1989), proporcionar as aves uma instalação avícola que possa atenuar a influência das intempéries climáticas sobre o desempenho produtivo, porque caso contrário à empresa ou produtor terá prejuízo.

No entanto, não é uma tarefa muito fácil ofertar ambiente confortável nos aviários, pois conforme a afirmação de Baêta (1997) o ambiente das instalações é resultante da somatória de diversos fatores, em sinergia, que nem sempre são facilmente controlados.

Dentre os fatores mencionados pelo autor, o conhecimento das características dos materiais empregados nas instalações, pode ser considerado àqueles de maior preponderância para edificação de um aviário, pois 50% do investimento em uma criação intensiva e semi-intensiva estão concentrados na construção das instalações e nos materiais, principalmente de cobertura as quais possuem alta relação com as condições térmicas da instalação (SEVEGNANI et al., 1994).

Vale ressaltar que além da contribuição térmica dos materiais, outras características devem ser averiguadas. Nääs (1989) afirma que além das características térmicas adequadas, os materiais utilizados em instalações zootécnicas devem apresentar resistência mecânica compatível com os esforços a que serão submetidos, apresentar durabilidade adequada para as condições de exposição e custo reduzido.

Nesse contexto, torna-se necessário buscar materiais alternativos que possam ser incorporados aos galpões avícolas e que atendam aos requisitos expostos. Uma alternativa esta na aplicação dos compósitos particulados como forro para galpões avícolas.

3.3 Coberturas

A insolação é o principal fator que contribui com o desconforto térmico nas instalações avícolas. Para atenuar o seu efeito o sombreamento natural ou artificial aparece como alternativa (TINÔCO, 2004).

De acordo com o conceito acima, as coberturas empregadas nos aviários, podem ser consideradas como fonte de sombreamento artificial, sendo ela a principal barreira contra a

radiação solar incidente. Segundo Tinôco (1996) a cobertura pode reduzir entre 20 a 40% da carga térmica radiante (CTR) no interior do galpão.

O trabalho de Sarmento et al. (2005), também demonstra o quanto é importante o sombreamento de uma cobertura para o aviário. Uma das análises desse estudo consistiu em averiguar a carga térmica radiante (CTR) de uma instalação avícola coberta com telha de cimento-amianto pintada de branco (TACP) e a CTR do ambiente externo da área experimental.

Nesse experimento, os autores constataram diferenças significativas para os horários estudados (07h00min; 09h00min; 11h00min; 13h00min; 15h00min; 17h00min), demonstrando que ao longo do dia o sombreamento da cobertura é relevante na redução da CTR (Figura 2).

Figura 2. Variação da CTR ao longo do dia para diferentes sistemas de cobertura
Fonte: Dados extraídos da pesquisa de Sarmento et al. (2005)

Outro ponto interessante tem relação com a redução máxima de 38,44% da CTR (Tabela 4), estando de acordo com dados de Tinôco (2004).

Tabela 4 - Variação da CTR ao longo do dia

	Horas					
	7:00	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00
TACP	429,4	451,1	473,6	485,2	479,0	457,3
Externa	514,0	685,0	767,0	788,2	708,9	527,9
Redução%	16,46	34,15	38,25	38,44	32,43	13,37

Fonte: Dados extraídos da pesquisa de Sarmento et al. (2005)

O estudo de Jacome et al. (2007) também demonstra a relevância do sombreamento de uma cobertura (cimento amianto – GTA) para um galpão avícola. Da mesma forma que Sarmiento et al. (2005), os autores diagnosticaram redução significativa da CTR do ambiente interno do aviário, em comparação com a CTR do ambiente externo (Tabela 5).

Tabela 5 - Variação da CTR ao longo do dia

	Horas				
	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00
GTA	448,7	460,1	489,9	485,5	470,7
Externa	483,3	503,1	520,6	537,1	515,6
Redução%	7,16	8,55	5,90	9,61	8,71

Fonte: Dados extraídos da pesquisa de Jacome et al. (2007)

Sampaio et al. (2011) avaliaram a influência da temperatura da telha no ambiente interno de protótipos experimentais. Uma das análises desse estudo consistiu na investigação da variação dos índices térmicos do ambiente interno de protótipos em relação ao ambiente externo, durante o período de verão e inverno. Nas duas épocas estudadas, os autores diagnosticaram menores valores de CTR no ambiente interno dos protótipos experimentais, comprovando que o sombreamento da cobertura é eficiente.

Os resultados desses trabalhos deixam evidente que a cobertura em aviários é eficiente na redução da radiação solar, o que é interessante, uma vez que o sistema de criação intensivo de aves ocorre em confinamento, durante o período de 42 dias.

Portanto, todos esses trabalhos reafirmam o estudo desenvolvido por Nääs et al. (2001), no qual a autora destaca o telhado como sendo o elemento construtivo mais importante para o controle da radiação solar em instalações avícolas.

Sabendo-se da importância da cobertura para o micro clima interno dos aviários, diversas pesquisas foram realizadas no Brasil, com o propósito de diagnosticar o material mais adequado para cada região do país.

Durante a década de 90, estudiosos da área de ambiência avaliaram o comportamento térmico de algumas coberturas. Nesses estudos, os autores qualificavam o ambiente interno das instalações, mediante a determinação de índices de conforto térmico como: o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) e Carga Térmica Radiante (CTR). Os resultados dessas pesquisas apontaram melhor desempenho térmico para as instalações cobertas com telha cerâmica, conforme sumarizado na Tabela 6.

Tabela 6 - Desempenho térmico de telhas

Autores	Ano	Telhas Avaliadas	Desempenho Térmico
<i>GHELFI FILHO et al.</i>	1990	Cerâmica	Ótimo
		Cimento-amianto (Simples)	Ruim
		Cimento-amianto (dupla com camada de ar 5cm)	Bom
<i>MOURA et al.</i>	1990/91	Térmicas	Bom
		Cerâmica	Ótimo
		Cimento-amianto (Simples)	Ruim
<i>SILVA et al.</i>	1990	Cimento-amianto (dupla com camada de ar 5cm)	Ótimo
		Cerâmica	Ótimo
		Cimento-amianto (Simples)	Ruim
<i>SEVEGNANI et al.</i>	1994	Cimento-amianto (dupla com camada de ar 4cm)	Bom
		Fibra Transparente	Ruim
		Alumínio	Bom
		Zinco	Bom
		Cerâmica	Ótimo

O interessante desses trabalhos tem relação com a cobertura de telha de cimento-amianto dupla (com camada de ar), pois ela apresentou, de acordo com os autores, comportamento próxima ao da telha cerâmica. Esses resultados demonstram a importância de utilizar o ar como elemento isolante em instalações zootécnicas, uma vez, que ele apresenta baixa condutividade térmica.

Outro ponto interessante desses trabalhos é referente às diferentes propriedades térmicas que pode existir entre esses materiais. Apesar de nenhum desses trabalhos terem mencionado valores térmicos, Nääs (1989) cita que a cerâmica apresenta condutividade térmica de 0,46 W/m°C, enquanto que o cimento-amianto entre 0,65-0,95 W/m°C. Esse é um dos fatores que explica o comportamento térmico distinto entre essas coberturas.

Embora esses autores tenham afirmado que a telha cerâmica apresentou melhor desempenho térmico perante aos outros materiais de cobertura avaliados, cabe ressaltar que esses resultados não comprovaram estatisticamente se o comportamento diagnosticado é realmente significativo, pois as análises foram apenas baseadas na estatística descritiva.

Pesquisas mais recentes nessa temática vem avaliando telhas e sistemas de coberturas alternativos aos convencionais, como por exemplo os trabalhos desenvolvidos por Fiorelli et al. (2007), Conceição et al. (2008), Fiorelli (2010) e Almeida et al. (2011).

As telhas e sistemas de coberturas avaliados pelos autores estão sumarizados na Tabela 7. É possível observar que além do bom desempenho térmico, esses sistemas de coberturas apresentam como vantagem, menor custo e possibilidade de agregar valor a diversos tipos de resíduos.

Tabela 7 - Desempenho térmico de coberturas não convencionais

Autores	Ano	Telhas Alternativas	Desempenho Térmico
<i>Conceição et al.</i>	2008	A base de fibras de sisal	bom desempenho
<i>Fiorelli et al.</i>	2010	Reciclada à base de caixas tetrapack	bom desempenho
<i>Almeida et al.</i>	2011	Bambu; Fibra vegetal e betume	bom, quando pintadas de branco

3.4 Forro

Conforme discorrido no item anterior, a cobertura é o elemento construtivo de maior importância para garantir um conforto térmico adequado em instalações zootécnicas. Porém, nem sempre apenas o sombreamento provocado pela cobertura é eficiente em conceber ambiente confortável para as aves.

Prova disso é o trabalho desenvolvido por Jácome et al. (2007), em que os autores diagnosticaram nos horários mais quentes do dia, valores de índices de conforto térmico (ITGU e CTR) acima do tolerado para poedeiras, em galpões com cobertura de telha cerâmica e telha de cimento amianto.

Cravo (2010) diagnosticou em uma integradora de frango de corte do estado de São Paulo a existência de 82,75% de instalações com forro (lona) e 5,74% para galpões semi forrados (galpões forrados até a metade do comprimento). Apesar de não ter registrado o percentual de mortalidade, o autor constatou aves mortas em galpões sem forro, mesmo com a presença de ventiladores e aspersores funcionando. A Figura 3 ilustra as condições das aves mortas, alojadas nessas instalações.

Figura 3. (a) Frangos mortos por estresse térmico. (b) Necropsia de frango morto por estresse térmico

Fonte: Cravo (2010)

O uso do forro é indicado para atenuar o efeito da radiação solar incidente sobre uma instalação. O material atua como uma segunda barreira física, permitindo a formação de uma camada de ar móvel, com baixa condutividade térmica ($0,023 \text{ W/mK}$) PROTOLAB(2012) junto à cobertura, contribuindo com a redução do calor no interior da construção (TINÔCO 2001).

Rodrigues (1998) estudou o efeito do isolante térmico (Duralfoil) associado à cobertura de cimento amianto, aplicados em aviários de frango de corte, construídos na FCAV – Unesp – Jaboticabal. O autor constatou condições de índice de temperatura e umidade (THI) adequadas para a criação de frangos de corte no período da madrugada e início da manhã (70 a 73), enquanto que na maior parte do dia os índices de conforto térmico aferidos enquadravam a instalação na região de perigo (acima de 78). Segundo a U.S. National Weather Service valores do índice de conforto entre 74 e 78 as condições de conforto são de alerta, enquanto que acima de 78 representa instalação com más condições de conforto para as aves.

Para o aviário com isolante térmico, os índices de conforto térmico foram 8% inferiores, com variação significativa de até 6°C em comparação com aquelas registradas no galpão sem isolante térmico. Embora o uso do material duralfoil, como forro, tenha reduzido significativamente o índice de conforto térmico, ele não foi eficiente em proporcionar ambiente confortável no horário mais quente do dia (12h00min às 16h00min), sendo necessário a adoção de outras técnicas para controlar os índices de conforto térmico em galpões avícolas da região de Jaboticabal.

Moraes et al. (1999) avaliaram o conforto térmico de galpões avícolas cobertos com telha de fibrocimento, forro de polietileno e sistema de aspersão de água, na região de Viçosa.

Os autores constataram menores valores de ITGU no galpão provido de sistema de aspersão de água enquanto que menores valores de CTR foram registrados no galpão com forro de polietileno.

Com base nos valores médios apresentados na pesquisa de Moraes et al. (1999), foi elaborado o gráfico da Figura 4. Observa-se que o ITGU aferido no galpão com forro e sistema de aspersão de água, diferenciaram apenas as 8h00min e as 12h00min. Embora os autores afirmarem que o galpão provido de sistema de aspersão tenha apresentado menores valores de ITGU, após as 12h00min, o galpão com forro de polietileno conseguiu atingir a eficiência do tratamento com aspersão.

Figura 4. Variação do ITGU ao longo do dia
Fonte: Dados de Moraes et al. (1999)

Figura 5. Variação da carga térmica radiante ao longo do dia
Fonte: Moraes et al. (1999)

Abreu et al. (2007) estudaram a condição térmica e o desempenho de aves criadas em aviário cobertos com telha de cimento amianto com e sem o uso de forro, na região sul do Brasil. O material utilizado como forro foi o polietileno. Para a variação tratamento (aviário com forro e sem forro), os melhores índices zootécnicos resultados (peso vivo, ganho de peso e consumo de ração) foram constatados no aviário com forro aos 42 dias.

Fato interessante dessa pesquisa esta no comportamento do forro de polietileno, que demonstra efeito significativo nas variáveis estudadas, apenas na última semana de vida das aves (42 dias de idade) (Figura 6).

Figura 6. Resultados índices zootécnicos galpão com forro vs sem forro

Fonte: Dados de Abreu et al. (2007)

Quanto às condições térmicas os autores encontraram menores valores de índices de conforto térmico (ITGU e CTR) para o aviário com forro de polietileno. Considerando o mesmo valor do ITGU (76 limite máximo tolerado para frangos de corte) utilizado na pesquisa de Moraes et al. (1999), com os valores médios do galpão com forro avaliado por Abreu et al. (2007), percebe-se que na maior parte do dia, as aves estavam em conforto térmico. Embora os dois trabalhos tenham utilizado a mesma cobertura e o mesmo tipo de material como forro (polietileno), observa-se na (Figura 7) que no estudo de Moraes et al. (1999) os galpões tiveram maiores valores de ITGU .

Figura 7. Valores experimentais de ITGU – Moraes et al. (1999) vs Abreu et al. (2007)
 Fonte: Dados de Moraes et al. (1999) e Abreu et al. (2007)

A interação entre material e ambiente onde ocorreram os ensaios é a hipótese mais concisa para explicar os menores valores apresentados no trabalho desenvolvido por Abreu et al. (2007), uma vez que, a região sul é mais fria ao longo do ano. Isso demonstra que o forro de polietileno associado com a telha de cimento amianto apresenta comportamento diferente quando avaliado em diferentes regiões climáticas brasileiras.

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.

Comparando o material foil de alumínio com o polietileno usado por Moraes et al. (1999), nota-se na Figura 8 comportamento díspares durante as horas do dia. No período das 08h00min até 10h00min foram registrados maiores valores de CTR no galpão com foil de alumínio avaliado por Oliveira (2000), em comparação com a CTR registrada no galpão com forro de polietileno de Moraes et al. (1999). No entanto, nas horas mais quentes do dia a situação se inverte, pois no galpão com forro de polietileno há maior dificuldade na dissipação do calor.

Figura 8. Valores experimentais de CTR – Moraes et al. (1999) vs Oliveira et al. (2000)
 Fonte: Moraes et al. (1999) e Oliveira et al. (2000)

Na pesquisa de Rodrigues (1998), Moraes et al. (1999), Oliveira et al. (2000) e Abreu et al. (2007), todos eles utilizaram telha de cimento amianto com variação do material empregado como forro. No entanto, é importante investigar o desempenho de outros materiais isolantes associados a outros tipos de telhas.

Gomes et al. (2006) avaliaram o conforto térmico de três abrigos em modelos reduzidos em Anápolis-GO, sendo um caracterizado com telha de bambu e forro a base de embalagens de longa vida, enquanto que os outros dois diferenciavam apenas pela telha (fibrocimento e bambu). Os autores diagnosticaram menores 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.

Essa pesquisa demonstra que a telha de bambu tem baixo desempenho térmico quando comparado com telhas de fibrocimento. Porém, ao adicionar forro de embalagem longa vida o valor médio do ITGU do protótipo bambu com forro foi estatisticamente igual ao da cobertura de fibrocimento (Tabela 8). Isso demonstra que só é interessante utilizar telha de bambu desde que empregue forro, pois caso contrário o ambiente térmico será agravante aos animais. Esse material utilizado como forro aparenta ser de bom potencial a ser aplicado sob as coberturas, no entanto, necessita-se de mais estudos.

Tabela 8 - Valores experimentais de CTR e ITGU

Tratamento	CTR (W/m²)	ITGU
Telha de Bambu	535,87 a	77,99 a
Bambu com Forro	514,33 a	76,65 b
Telha de Fibrocimento	518,93 a	77,02 b

Fonte: Gomes et al. (2006)

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 no modelo reduzido com forro (CF). De acordo com os autores, essa diferença só ocorreu no período crítico das 12h00min às 15h00min, em virtude da intensa radiação solar. Os dados desta pesquisa mostram que o forro de EVA associado a esse tipo de telha são eficientes na redução dos índices de conforto térmico de galpões de frangos de corte, mesmo nas horas mais quentes do dia (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores experimentais de ITGU

Período do dia	Camerini et al. (2009)	Tinôco (1998)
10h00min às 15h00min	ITGU	Lim. Máx (ITGU)
<i>Inverno (modelo sem forro)</i>	74,5	75 e 77 Sem estresse para frangos com mais de três semanas.
<i>Inverno (modelo com forro)</i>	74	
<i>Verão (modelo sem forro)</i>	78	
<i>Verão (modelo com forro)</i>	77	

Fonte: Camerini et al. (2006)

Um dos grandes desafios para o futuro é conhecer o desempenho dos materiais de cobertura frente as mudanças climáticas. Nesse âmbito, Borges et al. (2008) investigaram a influencia das mudanças climáticas no ambiente térmico interno de aviários para cidade de Lavras. Nessa pesquisa, os autores simularam a projeção de ITGU para os anos de 2020, 2050 e 2080 para dois tipos de materiais de cobertura (cerâmico e sanduiche).

As projeções futuras para cobertura cerâmica constatada pelos autores foram: em 2020 serão 2 meses de desconforto (Jan e Fev), em 2050 serão 4 meses de desconforto (Jan, Fev, Mar e Dez) e em 2080 serão 7 meses de desconforto (Jan, Fev, Mar, Abr, Oct, Nov e Dez). Já

para a cobertura com telha de sanduiche, os autores diagnosticaram desconforto somente para o cenário de 2080 (Jan, Fev, Mar, Oct, Nov e Dez).

Segundo os autores, o comportamento dispare entre as coberturas observadas nos diferentes cenários, se deve ao fato da telha sanduiche apresentar maior resistência térmica, podendo melhorar o ambiente térmico dos aviários. No entanto, outras melhorias deverão ser adicionadas, tais como, estudo de novos materiais com maior resistência térmica, como por exemplo, utilização do forro.

Portanto, para o futuro o emprego do forro sob a cobertura em aviários aparenta ser uma tecnologia eficiente frente às mudanças climáticas que ocorrerão no Brasil nas próximas décadas.

3.5 Painéis de partícula de madeira reconstituída

No item anterior relatou a relevância do forro para um aviário. Porém, em razão da diversidade climática do Brasil, não existe um único material que possa ser aplicado como forro nos galpões avícolas.

Desse entendimento surge a necessidade de diagnosticar novos materiais que possam ser inseridos nas edificações avícolas. Uma das alternativas é a aplicação de compósitos particulados de baixa densidade oriundos de resíduos agroindustriais, como cana-de-açúcar, casca de amendoim, fibra de coco, sabugo de milho entre outros.

Segundo Iwakiri (2005) os painéis de madeira são produzidos a partir do processamento da madeira, transformando-a em elementos com formas e dimensões variadas. Esses elementos associados a adesivos adequados geram novos produtos de madeira reconstituída (Figura 9). Esses painéis surgiram para atender uma necessidade gerada pela escassez e pelo encarecimento da madeira maciça.

Figura 9. Principais tipos de painéis
Fonte: Adaptado de Iwakiri (2005)

Quanto ao aspecto econômico sobre painéis de madeira, Mattos et al. (2008), apresentam um panorama e perspectivas dos painéis de madeira. Segundo os autores esses painéis apresentaram consumo mundial, em 2005, de 218.881 milhões de m³ (Tabela 10). Dentre os painéis, merece destaque o aglomerado/MDP, que representam 45,8% do consumo mundial, seguido pelos compensados e Fibra/MDF com 31,1% e 18,5%, respectivamente.

Tabela 10 - Consumo Mundial de Painéis de madeira

Consumo Mundial de Painéis - Mil m³				
	1995	Part. %	2005	Part. %
Aglomerado/MDP	64.550	48,4	100.335	45,8
Fibra/MDF	7.637	5,7	40.434	18,5
Fibra/Chapa dura	6.648	5	10.139	4,6
Compensados	54.557	40,9	67.937	31,1
Total	133.392	100	218.881	100

Fonte: Mattos et al. (2008)

De acordo com Mattos et al. (2008) cerca de 33% do consumo mundial de painéis é atendido através do comércio internacional, no qual 75% do volume comercializado é composto dos painéis mais tradicionais: aglomerado/MDP (40%) e compensado (35%) (Figura 10).

Figura 10. Produção mundial de painéis de madeira

Fonte: Mattos et al. (2008)

Os dados econômicos sobre os painéis demonstraram um crescimento de 64%, entre o período de 1995 a 2005. Considerando que a produção animal demanda por madeiras para edificação das instalações rurais, infere-se que a agropecuária pode ser uma fatia de mercado interessante a ser explorado pelas indústrias de painéis de madeira reconstituídas.

Entretanto, é necessário cautela quanto a inserção desses painéis na agropecuária, pois é relevante a realização de estudos que possam averiguar se os painéis de madeira apresentam comportamento físico-mecânico congruente ao da madeira.

Portanto, com base na classificação de Iwakiri (2005) pode-se afirmar que o material a ser desenvolvido nesse estudo “Compósito particulado de casca de amendoim e fibra do coco verde” é inserido no grupo dos painéis particulados aglomerados (MDP), com potencial de ser aplicado na produção animal.

Em razão do material a ser desenvolvido nesse estudo ser classificado como painel particulado aglomerado, a revisão a seguir será fundamentada nessa temática.

3.6 Painéis aglomerados de madeira – histórico

Historicamente, os painéis de madeira aglomerada floresceram na Alemanha no início da década de 40, como alternativa de viabilizar a utilização de resíduo de madeira, em face a dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade para produção de painéis compensados, devido ao isolamento da Alemanha durante a segunda guerra mundial (IWAKIRI, 2005).

O autor acima comenta que a síntese desses painéis ficou estagnada durante um período, em razão da 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 de painéis exibiam alta absorção de água e inchamento em espessura (MELO, 2009).

Porém, a partir dos anos 90, as empresas brasileiras que fabricavam painéis aglomerados começaram a investir em tecnologia, resultando na substituição das prensas cíclicas pelas prensas contínuas. Essa mudança tecnologia 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, ganho de produtividade e qualidade do painel (MATTOS et al. 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 et al., 2008).

3.7 Painéis aglomerados de madeira – aspecto econômico

Segundo Mattos et al. (2008) a produção mundial de painéis aglomerados atingiu o patamar de 99,7 milhões de m³, em 2005, sendo o maior produtor os Estados Unidos com 21% do volume, enquanto que o Brasil, ocupa o nono lugar com 2% da produção. Quanto ao consumo os principais países são: os Estados Unidos (32%), a Alemanha (10%) e a China (7%).

No mercado brasileiro os painéis mais consumidos são os aglomerados/MDP, com participação de 42,9% do total (4.892 milhões), enquanto que o painel de Fibra/MDF e Compensados ocupam a segunda e terceira colocação, respectivamente (Tabela 11).

Tabela 11 - Consumo de Painéis de Madeira no Brasil

Consumo de Painéis no Brasil – Mil m³				
	1995	Participação (%)	2005	Participação (%)
Aglomerado/MDP	866	40,1	2.098	42,9
Fibra/MDF	21	1	1.450	29,6
Fibra/Chapa	284	13,2	273	5,6
Compensado	988	45,8	1.071	21,9
Total	2.159	100	4.892	100

Fonte: Mattos et al. (2008)

Embora o mercado brasileiro tenha maior consumo pelo o aglomerado/MDP, os painéis mais produzidos são os compensados, enquanto que os aglomerados/MDP correspondem a segunda maior produção no país (Figura 11).

Figura 11. Produção brasileira de painéis de madeira

Fonte: Mattos et al. (2008)

Mattos et al. (2008) relatam que 92% da produção dos painéis aglomerados são destinados as indústrias moveleiras, sendo uma pequena parcela comercializada para vendedores que atendem os pequenos fabricantes de móveis (3%) e para indústria da construção civil (2%). Esses dados demonstram que esse material não é empregado para a produção animal (instalações zootécnicas), o que torna um nicho de mercado interessante, pelo fato, do Brasil ser considerado um país agropecuário.

Uma das grandes vantagens dos painéis aglomerados é com relação ao preço final do produto, pois segundo Mattos et al. (2008) esse tipo de painel tem apresentado no decorrer

dos anos, menor preço quando comparado aos demais painéis de madeira (Figura 12), o que é interessante para edificação das instalações zootécnicas, por exemplo os aviários, uma vez que as integradoras e produtores buscam amortizações nos custos produtivos.

Figura 12. Evolução do preço dos painéis de madeira
Fonte: Mattos et al. (2008)

3.7.1 Processo de produção de painéis de madeira aglomerada

A definição clássica de painéis de madeira aglomerada, segundo Iwakiri (2005) corresponde a um painel produzido por partículas de madeira, com a incorporação de um adesivo sintético e reconstituídos numa matriz randômica e consolidados através da aplicação de calor e pressão na prensa quente. Portanto, os componentes básicos utilizados na produção desses painéis são: madeira, resina e o catalisador.

De maneira geral, a literatura relata a produção dos painéis de partículas em três etapas, em que a primeira consiste na geração das partículas (Preparo das Partículas), a segunda corresponde na aplicação de resina (Adesivo – Resinas) e a última na formação dos painéis por prensagem (Produção – Painéis) (Figura 13).

Figura 13. Etapas gerais para produção dos painéis aglomerados

Na primeira etapa, Iwakiri (2005) afirma que os materiais utilizados para a produção de painéis aglomerados podem ser adquiridos de diversas fontes, como: toras provenientes de florestas plantadas, resíduos de outras indústrias madeireiras, como costaneiras, aparas, pontas, maravalhas, entre outros.

Posteriormente, esses materiais são passados em um moinho, com o propósito de reduzir o tamanho das partículas. As partículas selecionadas são encaminhadas em estufa a 60°C durante 24 horas, para atingir umidade de equilíbrio de aproximadamente 3% (MELO et al. 2010).

Na segunda etapa, 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 (resina - com base no peso seco das partículas), mediante a uma pistola acionada por compressor de ar e um tambor rotativo e posteriormente pré-prensadas em uma caixa molde (MELO et al. 2010).

Na última etapa, o painel formado com as dimensões da caixa molde é transladado para uma prensa hidráulica, sendo o painel prensado a uma determinada temperatura, pressão e tempo de prensagem (IWAKIRI et al. 2005).

3.8 Resinas utilizadas na produção de painéis de partículas aglomeradas

Conforme a definição de Iwakiri (2005) esboçada no item anterior, sobre painéis de madeira aglomerada, a resina (adesivo) é um dos componentes empregados para a síntese dos painéis aglomerados, com a finalidade de unir as partículas de madeira em suas superfícies.

Com base nesse contexto, pode-se afirmar que as resinas empregadas na fabricação dos painéis aglomerados são de extrema relevância para obter sucesso do composto, pois uma

resina de baixa qualidade proporcionará em um painel de pouco valor, ou seja, o material exibirá propriedades físico-mecânicas, abaixo do esperado.

Além disso, dentre os componentes empregados para a fabricação dos painéis aglomerados, a resina é o integrante de maior custo (IWAKIRI, 2005). De acordo com Carneiro et al. (2004) a resina pode equivaler a 50% do preço total do painel final.

Sabendo-se da importância que a resina representa para a confecção dos painéis aglomerados, o texto a seguir relatará sobre, o histórico, os mecanismos de adesão das resinas, os tipos de resina e apresentação de alguns achados na literatura.

Há séculos o homem emprega a resina (adesivo) para elaboração de seus materiais. Segundo Iwakiri (2005), no antigo Egito as lâminas de madeira usadas em peças mobiliárias e sarcófagos eram fabricadas com resina à base de albumina.

As demandas pelas resinas aumentaram, principalmente, com o advento de máquinas que beneficiavam a madeira e posteriormente, para a colagem de lâminas para produção de compensados. A partir deste período, houve um progresso com o desenvolvimento da química de materiais para produção e aperfeiçoamento de novos adesivos para madeira (IWAKIRI, 2005).

De acordo com o mesmo autor, a primeira resina sintética desenvolvida foi a fenol-formaldeído em 1929, seguida de ureia-formaldeído em 1931, melamina-formaldeído no final dos anos 30 e atualmente, o autor classifica as resinas da seguinte forma:

Tabela 12 - Classificação dos adesivos

ADESIVOS		
<i>Naturais</i>	<i>Sintéticos Termoplásticos</i>	<i>Sintéticos Termoendurecedores*</i>
Derivados proteicos de origem animal	Polivinil/acetato	Uréia-formaldeído
Derivados proteicos de origem vegetal	Polivinil/acrilato	Melamina-formaldeído
Derivados de amido	Polietileno	Fenol-formaldeído
Éter celulósico	Polistirol	Resorcina-formaldeído
Borracha natural	Borracha sintética	Tanino-formaldeído

*comportam-se, quando sob aquecimento, com modificações químicas e físicas irreversíveis, que tornam rígidos e insolúveis, através de reações de policondensação.

Fonte: Iwakiri (2005)

Após a resina ser incorporada no processo de fabricação dos painéis aglomerados, conforme salientado no item anterior, cinco ações de movimento ocorre para formação da

ligação madeira-resina, segundo Marra (1992) citado por Iwakiri (2005). Esses movimentos são:

- *Fluidez*: movimento correspondente ao espalhamento do adesivo sobre a superfície da madeira;
- *Transferência*: movimento correspondente à transferência do adesivo para a superfície oposta;
- *Penetração*: movimento do adesivo para penetrar nos poros e estruturas intersticiais da madeira;
- *Umedecimento*: movimento do adesivo para recobrir a estrutura submicroscópica da madeira;
- *Solidificação*: movimentos envolvidos na mudança do estado líquido para o sólido, através de processos químicos.

Esses movimentos da resina sobre as partículas de madeira ocorrem com objetivo de aderir os substratos (partículas) do painel. Segundo Iwakiri (2005) os mecanismos envolvidos no processo de adesão podem ser explicados pelas seguintes teorias:

- *Teoria mecânica*: o adesivo líquido devido a sua fluidez penetra nos substratos porosos (madeira), ocorrendo posteriormente a solidificação, com a formação de ganchos fortemente presos entre os substratos;
- *Teoria de difusão dos polímeros*: a adesão ocorre através da difusão de segmentos de cadeias de polímeros a nível molecular;
- *Teoria da adesão química*: a adesão ocorre através de ligações primárias, iônicas ou covalentes, ou por forças intermoleculares secundárias.

Compreender esses conceitos básicos é importante, pois eles são bases para entender e interpretar os artigos sobre os painéis aglomerados, os quais serão esboçados a seguir.

Com o propósito de averiguar a influência de resinas alternativas nas propriedades físico-mecânicas em painéis de partículas de madeira (*Pinus* spp), Iwakiri et al. (2005) estudaram quatro tipos de resinas: uréia-formaldeído (UF), melamina-uréia-formaldeído (MUF), fenol-melamina-uréia-formaldeído (PMUF) e fenol – formaldeído (PF).

Uma das grandes razões que os autores deixaram explícitas na introdução do trabalho é sobre a limitação do adesivo uréia-formaldeído. Os autores afirmam que embora essa resina apresente menor custo em relação a outras resinas, tem a desvantagem por apresentar baixa resistência à umidade, o que justificaram estudarem alternativas.

Nesse trabalho, os autores constataram melhor estabilidade dimensional para os painéis produzidos com Fenol-Formaldeído. Esse comportamento poder ter ocorrido, pelo fato, da resina Fenol-Formaldeído ter como principal característica a alta resistência à umidade. Já o pior resultado (uréia-formaldeído), pode ser atribuído pela susceptibilidade da uréia-formaldeído a degradação hidrolítica na presença de umidade (Tabela 13) (IWAKIRI, 2005).

Já para as propriedades mecânicas, os autores não diagnosticaram significância entre os tratamentos estudados (Tabela 13). O que chama atenção desse trabalho é o fato da resina apenas ter influenciado significativamente na propriedade física do material.

Tabela 13 - Propriedades físico-mecânicas de painéis de partículas de madeira

Tratamentos	Inchamento 24 horas	AI* (MPa)	MOE* (MPa)	MOR* (MPa)
Uréia-Formaldeído	43,97 c	11,96 a	2874 a	22,00 a
Melamina-Uréia-Formaldeído	34,39 b	16,76 a	2969 a	22,10 a
Fenol-Melamina-Uréia- Formaldeído	29,98 ab	16,17 a	2852 a	21,90 a
Fenol-Formaldeído	21,08 a	15,39 a	3559 a	28,20 a

*AI – Adesão Interna; *MOE – Módulo de Elasticidade; *MOR – Módulo de Ruptura

Fonte: Iwakiri et al. (2005)

Embora os autores não tenham identificados diferenças significativas ($P < 0,05\%$), entre as propriedades mecânicas (AI, MOE, MOR) os autores afirmam que Fenol-Melamina-Uréia-Formaldeído ou Fenol-Formaldeído são viáveis para uso que requeiram maior resistência mecânica e estabilidade dimensional. No entanto, essa não parece ser a melhor recomendação, pelo fato, de não ter diagnosticado significância entre os tratamentos e também cabe ressaltar, que o custo da resina Fenol-Formaldeído é alto, correspondendo em torno de 2,5 vezes mais que a resina ureia-formaldeído (IWAKIRI, 2005).

Outra resina estudada pelos pesquisadores relacionados a essa temática é aplicação do tanino-formaldeído. Segundo Melo et al. (2010) a conscientização ambiental e a consequente busca por matérias renováveis vem sendo a força motriz, para a utilização de adesivos à base de tanino vegetal, encontrados na madeira (cerne), casca, raízes, flores, frutos e sementes de algumas espécies arbóreas.

Nesse âmbito, os autores compararam o desempenho físico-mecânico de painéis aglomerados (*Eucalyptus grandis*) sintetizados com uréia-formaldeído e tanino-formaldeído (extraído de acácia-negra). Os autores constataram melhores resultados físico-mecânico para os painéis fabricados com a resina tanino-formaldeído (Tabela 14), demonstrando potencialidade de uso na substituição da ureia-formaldeído.

Tabela 14 - Propriedades físico-mecânicas de painéis de partículas

Densidade	Resina	Abs.2h* (%)	Abs.24h* (%)	Inc.2h* (%)	Inc.24h* (%)
0,6	Ureia-Formaldeído	11,52 a	40,82 a	9,42 a	32,37 a
0,7	Ureia-Formaldeído	10,23 a	39,01 a	7,94 b	29,14 a
0,6	Tanino-Formaldeído	12,97 a	32,28 b	7,50 b	22,17 b
0,7	Tanino-Formaldeído	11,55 a	30,41 b	7,08 b	21,55 b
Densidade	Resina	MOE** MPa	MOR** MPa	AP** N	AI** MPa
0,6	Ureia-Formaldeído	1329,49 c	12,92 c	721,97 c	0,16 c
0,7	Ureia-Formaldeído	1667,45 b	16,53 b	829,77 b	0,20 b
0,6	Tanino-Formaldeído	1625,00 b	16,75 b	791,64 b	0,21 b
0,7	Tanino-Formaldeído	1962,04 a	19,28 a	945,11 a	0,26 a

*Abs.2h e *Abs.24h – Absorção 2 e 24 horas; *Inc.2h e *Inc.24h – Inchamento 2 e 24 horas

**MOE – Módulo de Elasticidade; **MOR – Módulo de Ruptura; **AP – Arrancamento de parafusos; **AI – Adesão Interna

Fonte: Melo et al. (2010)

Comparando os resultados do trabalho de Melo et al. (2010) e Iwakiri et al. (2005), observa-se um comportamento divergente da resina sobre o comportamento das propriedades mecânicas dos painéis. Talvez, essas diferenças podem ser atribuídas ao tipo de material e às variações nas propriedades das resinas.

Quanto à utilização de resinas naturais destaca-se o trabalho de Wang e Sun (2002), que avaliaram o desempenho de painéis particulados de palha de trigo e caule de milho. Uma das etapas desse estudo foi averiguar a melhor formulação entre as resinas metileno difenil diisocianato (MDI) com proteína de soja isolada (SPI). A melhor combinação diagnosticada pelos autores foi 4% de MDI (palha de trigo) e uma taxa de 1:10 de SPI (SPI: caule de milho), pois os painéis apresentaram melhores resultados de resistência à tração e à compressão.

Os autores afirmaram que o MDI não foi usado somente como adesivo, mas também como reagente durante a pressão a quente. O grupo isocianato do MDI pode reagir com o grupo hidroxila da proteína de soja para formar ligações de uretano, aumentando resistência à tração e à compressão do painel.

Além dessas, outra resina que vem sendo incorporada no processo de fabricação de painéis aglomerados é a poliuretana derivada do óleo de mamona. Essa resina é obtida através do óleo extraído da semente da planta *Ricinus communis* que possui características químicas atípicas quando comparadas 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, este está presente numa faixa de 84% a 91% da sua composição (Tabela 15) (CANGEMI et al., 2010).

Tabela 15 - 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 et al., 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 et al., 2010).

A produção do poliuretano derivado do óleo de mamona é efetuado, através da reação entre o isocianato e grupos polióis. O polioliol poder ser produzido pela transesterificação do triglicérides, ou por esterificação do ácido ricinoléico (óleo de mamnona) com glicóis (MARQUES e MARTINS, 2009).

Marques e Martins (2009) citando Andrade (2002), afirma que a formação do pré-polímero ocorre da reação entre o isocianato em excesso e o polioliol em quantidades relativamente baixa, resultando em um material líquido e viscoso, de baixa massa molar. Dessa forma os grupos NCO continuam com radicais livres para eventuais ligações.

A resina poliuretana derivada do óleo de mamona pode ser encontrada na forma monocomponente ou bicomponente, sendo que em ambos os casos as resinas são curadas 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 bicomponentes curam pela ação de um catalisador (COUTINHO e DELPECH, 1999).

Silva et al. (2008) avaliaram a tração perpendicular de painéis aglomerados de média densidade utilizando resina poliuretana monocomponente e bicomponente derivada do óleo de mamona. Os autores constataram valores médios experimentais (tração perpendicular) superiores, tanto para a resina monocomponente quanto para a bicomponente quando comparado a chapas fabricadas com resina ureia formaldeído.

Paes et al. (2011) estudaram chapas particuladas (*Pinus elliottii*) coladas com resina poliuretana sob diferentes condições de pressão e temperatura. As variáveis respostas desse estudo foram às propriedades físico-mecânicas. Os autores constataram melhores valores experimentais para os painéis produzidos com 3,0 MPa e temperatura de 90°C, sendo que os valores de inchamento e absorção estiveram em conformidade com a norma NBR 14810:2006 - Chapas de Madeira Aglomerada.

Considerando que nas últimas décadas, tem havido uma conscientização crescente de boa parte da população mundial quanto à preservação ambiental e preocupação com a ecologia (COUTINHO e DELPECH, 1999) e que os principais adesivos empregados nas indústrias utilizam o formaldeído, o qual quando liberado acarreta problemas ambientais (DIAS, 2008), a incorporação da resina bi-componente derivada de óleo de mamona na fabricação de painéis aglomerados, demonstra ser uma alternativa viável.

A quantidade de resina aplicada é outro parâmetro que dever ser monitorado durante a fabricação dos painéis aglomerados. Mendes et al. (2010) estudaram o efeito da incorporação de casca de café e níveis de resina (Fenol-Formaldeído) nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla*.

Os autores constataram melhoras nas propriedades físicas (menor absorção e inchamento) quando aplicada maior porcentagem de resina. Porém, para as propriedades mecânicas (MOR e MOE), os autores não diagnosticaram significância para os níveis de resina, sendo os valores influenciados somente pela casca de café.

Com base nas informações relatadas, pode-se afirmar que a resina poliuretana bicomponente (derivada do óleo de mamona) empregada nesse estudo é considerada um adesivo natural com benefícios ambientais quando comparado às resinas oriundas do formaldeído, pois o poliuretano obtido pelo óleo da mamona é biodegradável e extraído de uma fonte renovável.

3.9 Painéis aglomerados à base de resíduos agroindustriais

Nos itens anteriores, relatou-se a utilização da madeira como fonte de matéria-prima para fabricação de painéis aglomerados.

No entanto, a demanda por madeira pela indústria florestal tem aumentado ao longo dos últimos anos com aumento da população e novas área de aplicação, o que causou uma pressão significativa para preservação das florestas. Isso levou a necessidade das indústrias florestais e cientistas a encontrarem uma biomassa alternativa para substituir a madeira (ROWELL, 1995).

Uma alternativa encontrada é a aplicação das agro-fibras (biomassa renovável) como fonte de matéria-prima para confecção de painéis aglomerados (ROWELL, 1995). Essas agro-fibras, consideradas como biomassas renováveis são principalmente aceitas como materiais residuais (GULER et al. 2007).

Isso é possível, pois as agro-fibras apresentam composição química semelhante à madeira, mais precisamente com a das madeiras duras que contêm menor teor de lignina e maior teor de hemiceluloses do tipo pentosanas (ROWELL et al. 2000).

De acordo com Bektas et al. (2005), já são utilizados mais que 30 plantas como biomassa renovável na produção de painéis particulados ao redor do mundo. Para o futuro, a expectativa é que o número de plantas usadas como biomassa renovável para fabricação de painéis particulados seja ainda maior (GULER et al. 2007).

Guler et al. (2007) cita diversos trabalhos sobre a utilização de agro-fibras na fabricação de painéis aglomerados. Alguns desses estudos estão listados na Tabela 16.

Tabela 16 - Biomassas utilizadas como painéis particulados

<i>Biomassa Renovável</i>	<i>Fonte</i>
Caule de Girassol	Guler et al. (2006)
Palhas de Trigo	Han et al. (1998)
Kenaf	Grigoriou et al. (2000)
Folhas de Chá	Yalinkilic et al. (2001)
Folhas de Palmeira	Nemli et al. (2001)
Algodão	Guler and Ozen et al. (2004)

Fonte: (GULER et al. 2007).

Uma das grandes vantagens de adotar esses resíduos como matéria-prima para a produção de painéis aglomerados esta relacionada com o benefício ambiental. Segundo

Rowell (1995) o uso desses materiais proporciona benefícios ambientais e socioeconômicos, uma vez que eles são geralmente arados no solo ou queimados no campo.

A respeito da parte socioeconômica, a produção de painéis à base de resíduos, torna-se uma oportunidade para produtores e empresas agregarem valor a esses materiais, pois em países com vocação agrícola, como o Brasil, o uso de resíduos agroindustriais deve ser incentivado.

A seguir serão relatados trabalhos sobre essa temática, mesclando estudos da literatura nacional com a internacional, com o objetivo de assegurar informações correlatas com esse trabalho de pesquisa.

Bektas et al. (2005) estudaram a influência do caule do girassol nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de madeira álamo. Nesse estudo, os autores testaram a adição de 0, 25, 50, 75 e 100% de caule de girassol. Os autores encontraram decréscimo nas propriedades físico-mecânicas, proporcional ao aumento dos níveis de caule de girassol. Os resultados desse trabalho demonstraram que a qualidade dos painéis é significativamente afetada, pela incorporação do caule do girassol.

Com a mesma proposta de Bektas et al. (2005) , porém com materiais diferentes, Melo et al (2009) estudaram diversas proporções de casca de arroz (0, 20, 40, 60, 80, 100%) em painéis particulados à base de madeira (*Eucalyptus grandis*). Da mesma forma que Bektas et al. (2005), os autores identificaram piores resultados para os painéis dotados de maiores níveis de casca de arroz, sendo que a maior limitação do uso desse resíduo está atrelada à dificuldade de colagem das partículas.

Seguindo o mesmo princípio dos trabalhos acima, Mendes et al. (2010) avaliaram o efeito da incorporação de um resíduo nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla*. Para esse estudo, o resíduo utilizado foi à casca de café com adição de 25%, 50% e 75% da massa do painel. Os autores constataram piores resultados físico-mecânicos à medida que se aumentou os níveis de casca de café, demonstrando que a incorporação desse resíduo prejudica o desempenho de materiais à base de *Eucalyptus urophylla*.

Guiotoku et al. (2008) avaliaram a utilização de palitos de erva mate como matéria-prima para fabricação de painéis aglomerados. O interessante dessa pesquisa foi a aplicação de tratamentos químicos (NaOH; Etanol e Ciclohexano), com o propósito de averiguar a influência na hidrofobicidade das fibras à resina. Os autores constataram menor inchamento (2 horas e 24 horas) para os painéis em que as partículas sofreram tratamentos químicos.

Apesar de Guiotoku et al. (2008) não ter realizado avaliação mecânica dos painéis com erva mate, esse estudo demonstrou que o tratamento químico das fibras representou uma alternativa para melhorar o desempenho para o inchamento dos painéis, o que é interessante já que o trabalho de Bektas et al. (2005), Melo et al. (2009) e Mendes et al. (2010) apresentaram baixo desempenho com o aumento da quantidade de resíduos.

Além do tratamento químico relatado no trabalho de Guiotoku et al. (2008), a intervenção no processo de produção de painéis aglomerados à base de resíduos agroindustriais mostra-se necessária.

Isso é evidente no estudo de Wang e Sun (2002) que avaliaram as características mecânicas de painéis fabricados com palha de trigo e miolo do milho (sabugo) em baixa densidade. O destaque desse trabalho em relação aos relatados anteriormente está relacionado com a seleção da melhor combinação em cada etapa de produção dos painéis. Por exemplo, os autores diagnosticaram melhores resultados para os painéis com 70% de palha de trigo e 30% de miolo de milho. A partir dessa formulação, os autores constataram o melhor nível de resina, tempo de pressão, densidade e outros.

Varanda et al. (2012) avaliou o desempenho físico-mecânico de painéis particulados à base de *Eucalyptus grandis* e casca de aveia, aderidos com resina poliuretana à base de mamona. O autor constatou bom desempenho para as propriedades físico-mecânicas, sendo que em alguns casos o desempenho foi superior às normas nacionais e internacionais.

A agroindústria brasileira apresenta inúmeros resíduos lignocelulósicos com potencialidades de aproveitamento para fabricação de novos materiais como, por exemplo, a casca de amendoim (PABLO et al., 1975; CARASCHI et al., 2009 e GATANI, 2009).

Essa cultura representa atualmente 89.103 ha plantados no país, cerca de 80% estão no estado de São Paulo, representando uma produção de 275.460 mil t de amendoim na safra de 2011 (IBGE, 2012). A porcentagem de casca desta produção representa 30% da produção do grão, sendo hoje seu principal uso como combustível para caldeira e alimento para gado.

Guler et al. (2007) estudaram a mistura de casca de amendoim (*Arachis hypogae*) com lasca de madeira (*Pinus nigra*) nas propriedades físico-mecânicas. Os níveis de casca de amendoim testados foram: 0, 25, 50, 75 e 100%. Os autores constataram melhores resultados para os painéis com 100% de lasca de madeira, enquanto que os piores resultados foram diagnosticados para os painéis dotados com 100% de casca de amendoim.

Caraschi et al. (2009) estudaram a viabilidade de produzir painéis à base de casca de amendoim como elemento de reforço e embalagens cartonadas e plásticas como matriz polimérica. Foram avaliadas as propriedades físico-mecânicas do compósito produzido. Os

resultados foram analisados segundo a norma ANSI A208.1:1993 que especifica as propriedades de desempenho requeridas para as chapas de partículas e permitem classificar os painéis como sendo de baixa densidade, podendo ser utilizados como forros, divisórias, revestimento decorativo e demais aplicações que requerem as mesmas propriedades físicas e mecânicas.

Gatani (2009) avaliou o comportamento físico-mecânico de painéis de partículas à base de casca de amendoim e resina ureia-formaldeído, como matriz polimérica, fabricados na Argentina. Para a confecção dos painéis foi utilizado 10% de resina ureia-formaldeído, 5 MPa de pressão de prensagem e temperatura variando de 100 a 120°C. Os resultados obtidos indicam painéis com densidade média de 0,7 g/cm³, MOR e MOE médio de 6 MPa e 700 MPa, respectivamente. A autora conclui expondo a potencialidade do produto para aplicação na construção civil e arquitetura, como elementos de vedação e isolamento térmico.

Além da casca de amendoim, o Brasil, dispõe da fibra de coco verde que pode ser utilizada como matéria-prima para produção de painéis aglomerados. Em meados de 1990 o Brasil ocupava a 10ª posição no ranking mundial, com uma produção ao redor dos 477 mil toneladas de coco. Atualmente, o país é o quarto maior produtor mundial com uma produção aproximada de 2,8 milhões de toneladas, em uma área colhida de 287 mil há de coqueiros (MARTINS e JESUS JÚNIOR, 2011).

De acordo com Passos (2005) o processamento de coco no Brasil gera o equivalente a 2,892 milhões de toneladas, as quais são destinadas a aterros e vazadouros com potencial de emitir metano, gás esse agravante para o efeito estufa. Portanto, a produção de painéis aglomerados com fibra de coco verde é uma opção para evitar efeitos deletérios ao ambiente.

Colli et al. (2010) estudaram as propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com partículas de madeira de paricá e fibras de coco verde de baixa densidade (360Kg/m³). Nesse estudo, os autores avaliaram diferentes níveis de fibra de coco (10, 20 e 30%) misturados com madeira paricá (0, 90, 80 e 70%). Os autores constataram melhoras para o módulo de ruptura e elasticidade quando inserido fibra de coco verde a madeira, sendo a formulação 30% de fibra de coco verde e 70% de madeira paricá, a que exibiu melhor desempenho. Para umidade de equilíbrio, os pesquisadores constataram aumento dessa variável com adição de fibra de coco.

Fiorelli et al. (2012) avaliaram painéis aglomerados de alta densidade, à base de fibra de coco verde e resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona. Segundo os autores, os painéis de partículas produzidos com fibra da casca do coco verde, apresentaram

desempenho físico-mecânico acima dos limites mínimos recomendados pelos principais documentos normativos nacionais e internacionais.

3.10 Aplicação de painéis aglomerados à base de resíduos agroindustriais como isolamento térmico

Segundo Papadopoulos (2004) os materiais para isolamento podem ser classificados de acordo com sua estrutura química e física. (Figura 14). Nessa pesquisa, o autor afirma que o mercado Europeu consome 60% de materiais isolantes inorgânicos e 27% de materiais orgânicos, enquanto que o restante juntos somam 13%.

Figura 14. Classificação dos materiais isolantes

Fonte: Adaptado de Papadopoulos (2004)

Embora o mercado seja favorável para os materiais inorgânicos e orgânicos, Liang e Ho (2007) demonstraram em seus estudos desvantagem para o índice de toxicidade e conteúdo de gases tóxicos emitidos por esses painéis. Nessa pesquisa, os autores avaliaram o índice de toxicidade para a fibra de vidro, lã de rocha, espuma de polietileno e espuma de poliuretano.

Os resultados mostraram que todos os materiais exibiram índice de toxicidade maiores que 1, significando que traria a morte em 30 minutos após ingerir gases oriundos desses materiais. Dentre os materiais analisados pelos os autores, o polietileno e a espuma de poliuretano foram os que apresentaram maior índice de toxidade (Figura 15).

Figura 15. Índice de Toxicidade de diferentes materiais
Fonte: Liang e Ho (2007)

Para avaliar o desempenho de materiais isolantes, deve-se levar em consideração as seguintes condições (PAPADOPOULOS, 2004):

- Propriedades físicas;
- Saúde e propriedades ambientais;
- Aplicabilidade em elementos de construção;
- Custo;
- Condutividade térmica.

Para que um determinado material isolante possa ser eficiente é relevante que ele apresente características térmicas favoráveis. Dentre essas características pode-se citar a condutividade térmica dos materiais, que consiste segundo Callister (2008) no fenômeno pelo

qual o calor é transportado a partir de regiões de alta temperatura para regiões de baixa temperatura de uma substância, definida em termos da expressão:

$$q = -k (dT/dx)$$

q = fluxo de calor, ou escoamento de calor, por unidade de tempo por unidade de área;

K = condutividade térmica do material;

dT/dx = gradiente de temperatura através do meio condutor

O autor em sua obra comenta que o calor é transportado em materiais sólidos tanto por ondas de vibração da rede (fônons) quanto por elétrons livres, sendo que a condutividade total obtida pela soma das duas contribuições:

$$K = kl + ke$$

Kl = condutividade térmica da vibração da rede;

Ke = condutividade térmica do elétron.

Conforme salientado por Papadopoulos (2004), os principais materiais isolantes comercializado na Europa estão listados na Tabela 17, com os respectivos valores de condutividade térmica. Nota-se que a espuma de poliuretano apresenta menor valor de K . Esse menor valor pode ser atribuído pela menor densidade.

Tabela 17 - Condutividade térmica de materiais isolantes

Material	Densidade (Kg/m³)	Condutividade térmica (K cal/mh C)
Fibra de Vidro	2000	0,031
Lã de Rocha	130	0,037
Espuma de Polietileno	24,3	0,034
Espuma de Poliuretano	18	0,018

Fonte: Liang e Ho (2007)

Essas duas pesquisas relataram a classificação dos materiais isolantes bem como suas desvantagens (índice de toxicidade do material). Além disso, foi mencionada a condutividade térmica, uma das principais propriedades térmicas dos materiais.

Com base no exposto, torna-se necessário desenvolver novos materiais isolantes que apresentem propriedades físico-mecânicas, térmicas, ambientais, saúde, aplicabilidade e custo que sejam complacentes a um edifício civil ou uma instalação rural.

É nesse âmbito que se insere a relevância de desenvolver painéis aglomerados de baixa densidade à base de resíduos agroindustriais, uma vez que esses materiais oferecem benefícios ambientais e econômicos. Porém, para que esses materiais possam ser incorporados como materiais isolantes é necessário efetuar pesquisas quanto às propriedades físico-mecânicas e térmicas (condutividade térmica).

Como o foco desse estudo consiste em desenvolver um painel de baixa densidade à base de casca de amendoim e fibra da casca do coco verde, serão relatados alguns trabalhos que foram extraídos da literatura internacional, com a finalidade de subsidiar informações necessárias para avaliar a condutividade térmica desses painéis.

Sampathrajan et al. (1991) estudaram propriedades mecânicas e térmicas de painéis aglomerados de baixa densidade à base de resíduos de fazenda (casca de milho, sabugo de milho, casca de amendoim, coco e palha de arroz). Para as propriedades mecânicas (Módulo e Elasticidade – MOE e Módulo de Ruptura – MOR), os autores constataram maiores valores para os painéis de sabugo de milho e casca de amendoim, enquanto que o pior desempenho foi averiguado para o painel dotado de palha de arroz. Entretanto, apesar da palha de arroz ter exibido resultados inferiores, os autores identificaram menor condutividade térmica para esse painel (Tabela 18).

Os autores ainda afirmam que existe uma relação linear entre a densidade das placas com a condutividade térmica independente do material da placa, como dado pela equação empírica:

$$K = 1,08 * d$$

K = condutividade térmica em $\text{J m}^{-1} \text{h}^{-1} \text{C}^{-1}$;

d = densidade em Kg m^{-3}

Tabela 18 - Propriedades mecânicas e térmicas de painéis de partículas com diferentes densidades

Material	Densidade (Kg/m³)	MOE* (MPa)	MOR* (MPa)	Condutividade J m⁻¹ h⁻¹ C⁻¹
casca de milho	310	427	5,2	343,3
palha de arroz	190	193	4,9	226
sabugo de milho	320	930	6,5	347,4
Coco	290	282	5,8	309,8
casca de amendoim	540	523	6,3	540

*MOE – Módulo de Elasticidade; *MOR – Módulo de Ruptura

Fonte: Sampathrajan et al. (1991)

Xu et al. (2004) avaliaram propriedades físico-mecânicas e térmicas (condutividade) de painéis aglomerados de *Kenaf core* (Planta), com densidade variando entre 0,15-0,30 g/cm³. Para as propriedades mecânicas (MOR e MOE) os autores observaram uma relação quase linear, ou seja, quanto maior a densidade, maior os valores de MOR e MOE. Com relação às propriedades físicas (inchamento e absorção), os autores identificaram menor absorção e maior inchamento para os painéis com maior densidade.

A hipótese que os autores usaram para explicar a maior absorção de água pelos painéis em baixa densidade, esta relacionada com a característica porosa, ou seja, painéis com menor densidade apresentam maior porosidade e conseqüentemente maior probabilidade de absorver água.

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 (Tabela 19).

Tabela 19 - Variação da condutividade térmica em função da densidade

Densidade g/cm³	Condutividade W/Mk
0,1	0,04
0,25	0,065

Fonte: Xu et al. (2004)

Zhou et al. (2010) estudaram o desempenho (condutividade térmica) de placas de caule de algodão como isolamento térmico (densidade entre 150 – 450 kg/m³). Os autores constataram relação linear positiva entre a densidade e a condutividade térmica. De acordo

com os autores, a menor condutividade térmica foi observada nos painéis de menor densidade, devido ao maior número de espaços vazios.

Zhou et al. (2010) cita Whang (1988), o qual afirma que materiais com condutividade térmica menor que 0,25 W/mK são geralmente visto como isolantes térmicos. Na pesquisa de Zhou et al. (2010) os valores de condutividade térmica eram na faixa de 0,0585 – 0,0815 W/mK, para a densidade variando entre 150 – 450 kg/m³.

Tangjuank e Kumfu (2011) avaliaram o desempenho físico (absorção e inchamento), térmico (condutividade térmica) e resistência ao fogo de painéis aglomerados à base de fibra de papiro. Os autores constataram aumento na densidade dos painéis elevando a taxa de resina, resultando em menores espaços vazios nas placas, devido à resina curar nesses espaços. Para as propriedades físicas os autores diagnosticaram maior absorção nas placas de menor densidade, em virtude do maior número de espaços vazios. Já para o inchamento Tangjuank e Kumfu (2011) observaram maiores valores nos painéis de maior densidade.

Da mesma forma que os relatos anteriores, Tangjuank e Kumfu (2011) constataram aumento da condutividade térmica do material com a elevação da densidade do painel. Além de mensurar essa propriedade, os autores compararam os resultados com os outros materiais isolantes. Comparando a fibra de papiro com a lã de vidro, os autores obtiveram uma redução de 1,34 vezes (Tabela 20).

Tabela 20 - Propriedades físicas e térmicas

Partícula:Resina	Densidade Kg m ⁻³	Absorção %		Inchamento %		Cond. Térmica W/mK
		2 h	24 h	2 h	24 h	
1:2	232	154	156	12	15	0,0296
1:3	258	133	145	20	31	0,0298
1:4	266	101	120	24	33	0,0304

Fonte: Tangjuank e Kumfu (2011)

Panyakaew e Fotios (2011) avaliaram as propriedades mecânicas (MOR e MOE) e térmicas de placas fabricadas com casca de coco e bagaço de cana, com densidades de 250, 350 e 450 Kg/m³. 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 autores 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 (Tabela 21).

Para a condutividade térmica os autores encontraram uma relação positiva entre a condutividade térmica e a densidade, com menor variação para o bagaço de cana (Tabela 21).

Tabela 21 - Propriedades mecânicas e térmicas de painéis de partículas com diferentes densidades

Painel	Densidade Kg m ⁻³	MOR* (MPa)	MOE* (MPa)	Cond. Térmica W/mk
Casca de Coco	250	0,12		0,046 - 0,068
	350	0,68	88	
	450	1,94	365	
Bagaço de Cana	250	0,43	102	0,049 - 0,055
	350	1,51	392	
	450	4,16	957	

*MOR – Módulo de Ruptura; *MOE – Módulo de Elasticidade

Fonte: Panyakaew e Fotios (2011)

Tangjuank (2011) estudou a propriedade térmica (condutividade térmica) e física (Absorção e Inchamento) de painéis aglomerados sintetizados com folhas de abacaxi. Nessa pesquisa, o autor encontrou maior densidade para a relação 1:4 (Partícula: Resina), enquanto que a menor foi para 1:2, demonstrando a influência da resina na densidade final do painel. Para a variável absorção o autor constatou maior valor para os painéis de baixa densidade, pelo fato, do maior número de espaços vazios (Tabela 22).

Diferentemente dos trabalhos relatados, Tangjuank (2011) diagnosticou comportamento diferente entre a condutividade térmica e a densidade dos painéis, pois o autor observou maior valor para o painel de baixa densidade. Essa conduta segundo o autor ocorre, devido a maior quantidade de água nos espaços vazios acarretando no aumento da condutividade térmica.

Tabela 22 - Propriedades físicas e térmicas de painéis de partículas com diferentes densidades

Partícula:Resina	Densidade Kg m ⁻³	Absorção %		Inchamento %		Cond. Térmica W/mK
		2 h	24 h	2 h	24 h	
1:2	178	376	413	19	25	0,043
1:3	210	272	310	21	34	0,035
1:4	232	190	250	20	27	0,039

Fonte: Tangjuank (2011)

Com base nos valores relatados nessas pesquisas, foi elaborado um gráfico (Figura 16) comparando a condutividade térmica entre os materiais isolantes já consagrados (Lã de Vidro, Espuma de Polietileno, Poliuretano e Lã de Rocha) com nos novos materiais isolantes a base

de resíduos agroindustriais. A condutividade térmica desse último grupo foi determinada com base nos valores médios entre as densidades de cada pesquisa.

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 16) são geralmente visto como isolantes térmicos. Nota-se na Figura 16 que somente a fibra de papiro e folha de abacaxi exibiu comportamento próximo aos do grupo consagrados. Apesar dos demais materiais terem apresentados maiores valores de condutividade, não se pode descartar essa tecnologia como alternativa de substituição a Lã de Vidro, Espuma de Polietileno, Poliuretano e Lã de Rocha.

Figura 16. Condutividade térmica de diferentes materiais

3.11 Estresse térmico em frangos de corte

O frango de corte comercial é hoje um dos animais de maior eficiência nutricional e rápido desenvolvimento. Porém, desse potencial para a produtividade, mostra-se susceptível a um grande número de variáveis extrínsecas. Essas variáveis extrínsecas entendem-se como o ambiente que circunda as aves, ou seja, a somatória dos fatores biológicos, térmicos, químicos e físicos que irão refletir no sucesso ou no fracasso do empreendimento avícola.

Dentre esses fatores extrínsecos, Tinôco (2001) afirma que os fatores térmicos, representados pela temperatura do ar, umidade, radiação térmica e a movimentação do ar são

aqueles que afetam mais diretamente as aves, pois comprometem sua função vital mais importante: manutenção da homeotermia, ou seja, animais que mantêm a temperatura interna constante mesmo com a variação da temperatura ambiente.

Do ponto de vista fisiológico, as aves procuram manter sua temperatura interna de forma constante, com a finalidade de manter a composição do meio interno compatível com a sobrevivência das células individuais, pois o sucesso do desempenho dos frangos depende das inter-relações entre os órgãos das aves.

Porém, quando ocorre um desequilíbrio do meio interno, devido a uma variação da temperatura ambiente, o organismo da ave lança mão de recursos fisiológicos, os quais visarão perder ou produzir calor, dependendo das condições do ambiente. Embora esses mecanismos fisiológicos representem uma característica na escala evolutivas das aves, eles acarretam em um custo fisiológico, que conseqüentemente refletirá no processo produtivo das aves.

Isso ocorre, porque esses ajustes fisiológicos são feitos em detrimento da produção destes animais que, ao invés de empregar os nutrientes da alimentação para a síntese (anabolismo), utilizam-nos para produzir ou dissipar calor. No entanto, quando não ocorre nenhum desperdício de energia, seja para compensar o frio ou acionar o sistema de refrigeração, diz-se que as aves estão em condições de conforto e, conseqüentemente, de produtividade máxima (TINÔCO 2001).

Esses ajustes fisiológicos, que ocorrem tanto nas altas temperaturas como nas baixas temperaturas, dependem do sistema homeostático de controle, que segundo Furlan e Macari (2002) consiste em um conjunto de componentes interligados que atuam para manter relativamente constante um parâmetro físico ou químico do organismo da ave.

Segundo Abreu e Abreu (2004) o centro termorregulador é localizado no sistema nervoso central. A captação das sensações de frio e de calor pelo centro termorregulador ocorre por meio de células especializadas que funcionam como termorreceptoras periféricas, captando aquelas sensações de levando-as ao sistema nervoso central. O hipotálamo anterior é responsável pela sensação de calor em ambientes quentes e o posterior pelas respostas fisiológicas nos ambientes frios.

De acordo com Furlan e Macari (2002) o sistema homeostático de controle de temperatura nas aves sempre atuam como referência fixa (*set-point*) e resistem a quaisquer alterações. Isso significa que a ave tem o ponto de referência de 41,1°C e esse não é variável, com todos os sistemas funcionando para manter a temperatura corporal nesse valor. Assim,

quando as atividades dos neurônios responsivos ao calor e ao frio se igualam, a produção será igual à perda de calor e a temperatura será mantida estável.

Quando a sensação (temperatura) do ambiente é captada pelas células termorreceptoras e posteriormente enviadas ao sistema nervoso central, que após processadas irão modular informações para a produção ou perda de calor. Abreu e Abreu (2004) afirma que a transferência do calor do corpo para o meio ambiente ocorre pelos processos sensíveis e latentes.

As formas sensíveis ocorrem através de mecanismos não evaporativos, ou seja, radiação convecção e condução. Já a forma latente consiste na condensação e evaporação (resfriamento evaporativo respiratório) (FURLAN e MACARI, 2002). Aumentando-se a temperatura ambiente a ave aciona seus mecanismos de perda de calor, sendo as formas sensíveis inicialmente mais eficientes que as formas latentes. No entanto, se a temperatura ambiente continuar aumentar as formas de perda de calor latente tornam-se mais eficientes que as formas sensíveis (ABREU e ABREU, 2004).

A literatura menciona que a dissipação do calor na forma sensível, ocorre mediante ao aumento de fluxo sanguíneo para os tecidos periféricos não cobertos com penas (pés, crista e barbelas). Já na forma latente as aves aumentam a frequência respiratória para aumentar a perda de calor no trato respiratório, pois para evaporar 1g de água é necessária 550 cal segundo Furlan e Macari (2002).

Mediante a esses problemas torna-se relevante conhecer a zona de conforto térmico das aves. Essa zona consiste em uma faixa de temperatura ambiente em que a taxa metabólica é mínima e a homeotermia é mantida com menos gasto energético. Assim, na zona de conforto térmico (ou termoneutra), a fração de energia metabolizável utilizada para a termogênese é mínima e a energia líquida de produção é máxima (FURLAN e MACARI, 2002).

A Zona de Conforto Térmico é limitada pelas temperaturas efetivas ambientais dos pontos B e B' em que não há sensação de frio ou de calor e o desempenho da ave é otimizado; a Zona de Homeotermia coexiste nos pontos C e C'; e a Zona de Sobrevivência delimitada pelas temperaturas dos pontos D e D'. Nas temperaturas situadas na faixa limitada pelos pontos A e D, o animal está estressado por frio e nas de A' a D', por calor. A temperatura do ponto B é Temperatura Crítica Inferior e abaixo dessa, a ave aciona seus mecanismos termorregulatórios para incrementar a produção e retenção de calor. Já a temperatura do B' é denominada de Temperatura Crítica Superior, onde as aves acionam seus mecanismos termorregulatórios para dissipação do calor corporal para o ambiente (Figura 17) (ABREU e ABREU, 2004).

Figura 17. Esquema das temperaturas efetivas ambientais críticas

Sabendo-se da importância que a homeotermia representa para o desempenho das aves, a seguir serão esboçados alguns trabalhos referentes à influência da temperatura no desempenho produtivo das aves de corte.

A pesquisa de Oliveira et al. (2006) sobre o efeito da temperatura ambiente (16, 20, 25 e 32°C) no desempenho e as características das carcaças dos frangos de corte, demonstram resultados interessantes. Os autores constataram maior ganho de peso na temperatura estimada de 24,4°C, enquanto que a 32°C o ganho de peso das aves foi 21,3% menor que a das aves mantidas em temperatura ambiente de 25°C. De acordo com os autores, esse comportamento ocorreu em razão da variação do consumo de ração, que foi reduzindo a partir de 19,1°C, ou seja, as aves diminuíram o seu consumo de ração para reduzir a produção de calor metabólico e manter a homeotermia, resultando em decréscimo do crescimento.

Já no ambiente de 16°C o comportamento dessas duas variáveis foi contrário ao do ambiente de 32°C, conforme ilustra a Figura 18. Segundo os autores, essa conduta ocorreu devido às aves necessitarem de maior aporte de energia para se manterem no ambiente frio, que conseqüentemente leva ao menor ganho de peso e maior consumo de ração.

Esses comportamentos alimentares diagnosticados no trabalho de Oliveira et al. (2006), pode em parte ser explicado pela teoria termostática. Essa teoria postulada por Brobeck em 1960, afirma que quando as condições térmicas ambientais determinarem uma modificação da temperatura corporal que, sinaliza por neurônios do hipotálamo anterior,

modularia o comportamento alimentar do animal, estimulando ou inibindo o centro da fome e da saciedade (GONZALES, 2002).

Figura 18. (a) Variação do ganho de peso em função do aumento da temperatura. (b) Variação do consumo de ração em função do aumento da temperatura

Fonte: Oliveira et al. (2006)

Esses resultados demonstram a influência que esse fator térmico ambiental tem sobre o sistema produtivo das aves. Com o propósito de averiguar melhor a influência da temperatura sobre o sistema produtivo, foi simulado duas situações (desconsiderando mortalidade e outros custos) com base nos dados do trabalho de Oliveira et al. (2006), sendo uma para condição de conforto 25°C e a outra para ambiente de 16°C sumarizada na Tabela 23 e 24.

Visualiza-se na Tabela 23, que o ambiente com temperatura de 25°C proporcionaria 20.688 kg de carne para um galpão de frango de corte, contra 16.632 kg de carne do ambiente com temperatura 16°C (Tabela 24), ou seja, uma perda de 19,61% de produtividade. Quando se analisa o gasto com ração, observa-se que o ambiente frio elevou para 2,27% o custo da ração, quando comparado ao ambiente de 25°C. No final do processo, nota-se que o ambiente frio gerou menor receita líquida do que o ambiente com 25°C, ou seja, um prejuízo de R\$7.408,96.

Embora a simulação tenha desconsiderado os demais fatores que influenciam o empreendimento avícola, constata-se que a temperatura por si só acarreta em prejuízos gerando entraves para o investimento do setor.

Tabela 23 - Simulação para o desempenho de frangos de corte em ambiente com 25°C

25°C	Largura	Comprimento	Área
1 Galpão	12m	100m	1200m ²
Densidade	Cálculo		Total
10 aves/m ²	1200m ² X 10 aves		12000 aves
GP	Cálculo		Total
1724g	1724 X 12000 aves		20688 Kg carne
CR	Cálculo		Total
2956g	2956 X 12000 aves		35472 Kg de Ração
			70% milho + 30% F. Soja
Mercado	Cálculo		Total
Milho R\$ 31,22/ 60Kg	(24830,4 X 31,22)/60		R\$ 12.920
F. soja R\$ 48,00/ 60kg	(10641,6 X 48)/60		R\$ 8.513,28
Mercado	Cálculo		Total
R\$1,70 Kg	20688 Kg carne X 1,70		R\$ 35.197
Valores	Cálculo		Total
Renda da Venda	R\$ 35.197		R\$ 35.197
Custo Ração	R\$ 12.920 + R\$ 8.513,28		R\$ 21433, 28
Lucro			R\$ 13.763,72

Fonte: Oliveira et al. (2006)

Tabela 24 - Simulação para o desempenho de frangos de corte em ambiente com 16°C

16°C	Largura	Comprimento	Área
1 Galpão	12m	100m	1200m ²
Densidade	Cálculo	Total	
10 aves/m ²	1200m ² X 10 aves	12000 aves	
GP	Cálculo	Total	
1386g	1386 X 12000 aves	16632 Kg carne	
CR	Cálculo	Total	
3023g	3023 X 12000 aves	36276 Kg de Ração	
		70% milho + 30% F. Soja	
Mercado	Cálculo	Total	
Milho R\$ 31,22/ 60Kg	(25393,20 X 31,22)/60	R\$ 13.213	
F. soja R\$ 48,00/ 60kg	(10882,80 X 48)/60	R\$ 8.706,24	
Mercado	Cálculo	Total	
R\$1,70 Kg	16632 Kg carne X 1,70	R\$ 28.274	
Valores	Cálculo	Total	
Renda da Venda	R\$ 28.274	R\$ 28.274	
Custo Ração	R\$ 13.213,00 + R\$ 8.706,24	R\$ 21.919, 24	
Lucro		R\$ 6.354,76	

Fonte: Oliveira et al. (2006)

Fataftah e Dieyeh (2007) também estudaram o efeito da temperatura no desempenho de frangos de corte. Nessa pesquisa os autores avaliaram o efeito de quatro temperaturas ambientes (25°C constante, 30°C constante, 35°C constante e variação natural da temperatura em 24 a 28°C) sobre o desenvolvimento de frangos durante 4 semanas (4 semanas a 8 semanas).

Os autores identificaram que os frangos quando criados na temperatura de 35°C houve menor taxa de crescimento, de consumo de ração e de conversão alimentar. Ao contrário, os frangos mantidos em temperatura de 25°C, apresentaram maior taxa de crescimento e menores e melhores taxas de conversão alimentar, comparado com as aves mantidas em outras temperaturas. Além disso, houve aumento na taxa de mortalidade, a medida que a temperatura se elevava.

Os autores alertam para a importância da temperatura na conversão alimentar, pois eles afirmam com base nos dados do experimento, que os frangos criados em temperaturas de

30°C e 35°C precisam de mais tempo (4-11 dias) para chegar ao mesmo peso de abate que as aves criadas em temperatura de 25°C.

Esse dado é interessante, pois demonstra que o aumento no tempo de abate dos frangos em virtude de altas temperaturas, pode acarretar em perda monetária ao produtor e ao integrador. Para explicitar melhor essa situação, foi sintetizada uma simulação representada na Tabela 25. Observa-se que se o adiamento da idade de abate para mais 11 dias, conforme frisado no trabalho de Fataftah e Dieyeh (2007), constasse prejuízo de 1 criada e perda de R\$ 25.200. Importante salientar que não foi considerado taxa de mortalidade da criação e nem os custos para produção dos frangos.

Tabela 25 – Influência da idade de abate de frangos de corte ao longo do ano

Idade de abate	Vazio Sanitário	Total de dias para uma criada	Ano	Nº de criadas/ano
42 dias	10 dias	52 dias	365 dias	7 criadas
53 dias	10 dias	63 dias	365 dias	6 criadas
Idade de abate	Nº de aves/criada	Nº de aves criada/ano	Mercado Frango Vivo	Renda anual
42 dias	12.000 (1 galpão)	84.000	R\$ 2,10	R\$ 176.400,00
Idade de abate	Nº de aves/criada	Nº de aves criada/ano	Mercado Frango Vivo	Renda anual
53 dias	12.000 (1 galpão)	72.000	R\$ 2,10	R\$151.200,00
Déficit		1 criada		R\$ 25.200

Fonte: Fataftah e Dieyeh

Após os testes de desempenhos de frangos, Fataftah e Dieyeh (2007) avaliaram o teste de tolerância ao calor para as aves com 8 semanas de idade. Os autores constaram menor taxa de mortalidade e maior tempo de sobrevivência para as aves criadas no ambiente de 32°C, indicando que uma melhora na tolerância ao calor durante a aclimação das aves em altas temperaturas foi adquirida durante o teste de desempenhos dos frangos.

Apesar dos frangos terem aumentado sua tolerância ao calor, conforme relatado na pesquisa acima, essa técnica necessita de investimentos em pesquisa para ser empregada como ferramenta de combate do estresse calórico de frangos de corte, pois fica implícito que ocorre uma correlação negativa entre tolerância e desempenho, ou seja, conforme a aves aumentam a tolerância ao calor, essas aparentam ter menor desempenho.

O baixo desempenho das aves de corte frente às altas temperaturas, conforme salientado anteriormente, provavelmente possam estar atrelados a alterações fisiológicas. Essa hipótese pode ser ostenta com base nos resultados de Hai et al. (2000) e Marchini et al. (2009).

No primeiro trabalho, os autores estudaram o efeito do ambiente térmico (conforto, frio e calor) na digestão da ração de aves de corte. Foi diagnosticado que a taxa de passagem do alimento é menor no ambiente com alta temperatura (32°C), enquanto que no ambiente frio a taxa de passagem é mais rápida. Além disso, os autores constataram menor atividade enzimática (tripsina e quimotripsina) que consequentemente reduzem a digestibilidade dos aminoácidos.

Já no segundo trabalho, os autores estudaram a morfometria duodenal de frangos de corte criados em ambiente com temperatura cíclica elevada. De acordo com os autores a temperatura afetada negativamente a morfometria duodenal, prejudicando a absorção de nutrientes.

3.12 Radiação solar e fechamentos opacos

O sol é a maior fonte de energia para a Terra; irradia cerca de 56×10^{26} calorias por minuto. A radiação solar direta é a energia eletromagnética de ondas curtas, que atinge a Terra após ser parcialmente absorvida pela atmosfera e exerce grande influência na distribuição anual das temperaturas no globo (BAÊTA e SOUZA, 2010).

Sob a ótica ondulatória, a radiação, se caracteriza pelo comprimento de onda ou pela frequência de oscilação, sendo conhecidas radiações com comprimento de onda que variam desde 10^{-10} cm (ondas curtas) até cerca de 10^7 cm (ondas longas). Ao conjunto de todas elas denomina-se espectro eletromagnético (VAREJÃO SILVA, 2006).

A radiação solar que atinge o topo da atmosfera da Terra é atenuada devido às partículas presentes na atmosfera que causam seu espalhamento, alguns constituintes da atmosfera a absorvem e as nuvens que absorvem no máximo 7% do total e refletem até 90% dependendo de suas dimensões (BISCARO, 2007).

Quando a radiação solar incide sobre um corpo, pode ser parcialmente refletida, parcialmente absorvida e parcialmente transmitida através dele. Portanto, o total de radiação que incidirá sob um corpo qualquer será a soma da radiação refletida, absorvida e a transmitida (BISCARO, 2007).

Uma habitação tem como finalidade principal a proteção dos ocupantes contra o desconforto causado pelas intempéries climáticas. A radiação solar incidente, os processos de geração de calor e as trocas térmicas são fatores que afetam a temperatura interna e, consequentemente, o conforto térmico (BAÊTA e SOUZA, 2010).

As trocas de calor entre o ambiente externo e interno ocorrem por meio dos componentes das edificações, constituído por material opaco ou transparente. São denominados opacos todos os materiais que não deixam passar luz, sendo que o estudo do comportamento desses materiais nas solicitações térmicas do meio externo, principalmente diante da radiação solar, é relevante, uma vez que, em diversidade muito grande, é utilizado para fechamento das construções e, assim, exposto à ação desse fator climático (BAÊTA e SOUZA, 2010).

Um fechamento exposto aos raios solares sofre aumento de temperatura cuja grandeza depende do coeficiente de absorção do material e da quantidade de radiação solar incidente. A absorptividade é definida como a fração da energia incidente absorvida por uma superfície. A absorptividade é uma característica térmica da superfície do material, podendo esse coeficiente ser alterado por meio de pinturas, com o propósito de amenizar os efeitos negativos da radiação solar sobre uma edificação, principalmente no verão. Além do coeficiente de absorção, a resistência térmica e a capacidade de amortecimento são outras propriedades que fazem variar a temperatura superficial interna de um fechamento (BAÊTA e SOUZA, 2010).

Dessa forma, quando a radiação solar incide sobre a cobertura dos aviários, parte é absorvida pelo material resultando no acúmulo de energia a ser dissipada tanto para o interior da instalação, sendo um dos determinantes da temperatura interna. A utilização do forro sob a cobertura permite a formação de três camadas (cobertura, ar e forro) elevando a resistência térmica e consequentemente menor radiação térmica dissipada para o interior do aviário.

O fator de ganho de calor solar (FS_o) de elementos opacos é uma alternativa para avaliar o desempenho térmico de uma edificação avícola. Essa grandeza consiste no quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa de radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo (ABNT – DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES, 2003).

Portanto, considerando que o estresse térmico é um dos desafios enfrentados pela avicultura brasileira, torna-se necessário que antes da implementação da atividade, estabeleça um planejamento do sistema produtivo com ênfase nas instalações, inserindo o ganho de calor solar (FS_o), pelo fato dessa grandeza nortear corretas diretrizes evitando prejuízos aos produtores.

3.13 Conclusão da revisão

As informações relatadas nesse capítulo demonstram que a avicultura de corte é uma das atividades de maior relevância para o Brasil. No entanto, essa atividade se depara com desafios bioclimáticos, como a temperatura interna dos aviários, a qual interfere negativamente no desenvolvimento da ave, resultando em prejuízos para os produtores.

Para sanar esse problema, uma das alternativas consiste na aplicação de forro sob a cobertura. Porém, apesar dessa técnica oferecer benefícios bioclimáticos para o interior dos aviários, ainda não se tem um material único que possa ser aplicado como forro para as regiões do Brasil (diversidade climática).

Considerando que para os próximos anos, ocorrerão aumentos de temperatura no Brasil e pressão da sociedade por modelos de produção sustentáveis, julga-se necessário a realização de estudos referentes a aplicação de materiais alternativos, como painéis de baixa densidade à base de resíduos agroindustriais como forro de galpões avícolas.

4. HIPÓTESES

A aplicação do forro sob a cobertura de uma instalação avícola permite a formação de uma camada de ar junto ao telhado contribuindo com a redução da transferência de calor para as aves.

A cobertura, a camada de ar e o forro sob o telhado formam três camadas que são responsáveis por reduzir o fluxo térmico para o interior dos aviários. Porém, a quantidade de calor conduzida por esses materiais está diretamente relacionada com as propriedades físicas (absorção de umidade) e térmicas (condutividade térmica).

Considerando a inovação do material desenvolvido nessa pesquisa é necessário o estudo de suas propriedades antes de propor uma aplicação. Portanto, as hipóteses levantadas nesse estudo são:

- A incorporação de fibra da casca do coco verde, em partículas de casca de amendoim, melhora o desempenho físico-mecânico do compósito?
- As propriedades mecânicas desses compósitos serão suficientes em assegurar resistência aos esforços solicitantes quando utilizados como forro de galpões avícolas?
- A absorção de água desses compósitos é alta, uma vez que a avicultura intensiva adota ambiente com 50-60% de umidade relativa para as aves?
- As propriedades mecânicas do compósito são alteradas quando expostos as variáveis climáticas?
- A condutividade térmica do compósito é compatível com os materiais isolantes comerciais?
- O compósito apresenta durabilidade quanto a ação de micro-organismos ou pragas;
- Identifica-se redução da radiação transmitida para o interior de aviários com forro de compósito de casca de amendoim e fibra da casca do coco verde?

5. MATERIAL E MÉTODOS

Esse item relata a metodologia empregada na fabricação do compósito de partícula de casca de amendoim, fibra da casca do coco verde e resina poliuretana à base de óleo de mamona, os modelos inferenciais de análises (estatísticas descritivas) utilizados para comparar o desempenho físico-mecânico, térmico e de durabilidade do compósito.

Com o intuito de obter melhor organização esse item, foi dividido em seis etapas, as quais estão descritas abaixo.

- 1) Na primeira etapa, os painéis experimentais (casca de amendoim; casca de amendoim e fibra de coco verde) foram fabricados e suas propriedades físico-mecânicas averiguadas. O painel experimental que apresentou melhores desempenhos para essas variáveis foi utilizado para posteriores análises;
- 2) A segunda etapa consistiu na análise microestrutural dos painéis experimentais (casca de amendoim; casca de amendoim e fibra de coco verde) realizada no microscópio eletrônico de varredura, com o objetivo de realizar um estudo qualitativo dos materiais produzidos;
- 3) Na terceira etapa, foi elaborado um estudo (material selecionado após a etapa 1 e 2) para estudar o desempenho mecânico (módulo de ruptura e módulo de elasticidade) após o envelhecimento natural e acelerado do material;
- 4) Na quarta etapa com o material selecionado na etapa anterior foi realizado um estudo para diagnosticar a condutividade térmica;
- 5) A quinta etapa consistiu no estudo fator de ganho solar (FS_o) para duas instalações avícolas, uma com o forro selecionado na etapa anterior e outra sem forro. Posteriormente, com dados de radiação solar da estação climatológica foi averiguada a radiação solar que seria transmitida a essas instalações;
- 6) Elaboração gráfica de uma instalação avícola com o painel selecionado, utilizando-se o software Google Sketchup 8.

5.1 Local do experimento

O experimento referente à temática compósito particulado de baixa densidade à base de casca de amendoim e resina poliuretana de mamona para aplicação como forro para galpões avícolas foi realizado nas dependências da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA/USP.

5.2 Materiais

Para fabricação dos compósitos experimentais foi utilizado dois resíduos agroindustriais, a casca de amendoim e a fibra de coco. A casca de amendoim foi adquirida da região de Torrinha, enquanto que a fibra de coco verde foi obtida da região de Marília, ambas as cidades localizadas no estado de São Paulo.

O adesivo empregado para confecção dos compósitos experimentais à base dos resíduos agroindustriais supracitados foi à resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona. Esse material foi adquirido pela empresa Plural Química-São Carlos-SP.

5.3 Produção dos painéis de partículas

Os painéis experimentais foram fabricados no Laboratório de Construções Rurais e Ambientais (Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos), Pirassununga, São Paulo, durante o período de março de 2011 a dezembro de 2011.

A casca de amendoim e a fibra de coco verde foram dispostas em bandejas plásticas brancas e locadas no interior de uma estufa modelo MA035, com temperatura de 60°C, durante o período de 24 horas, com o propósito de retirar a umidade contida na matéria-prima, evitando a expansão dos painéis, decorrente da evaporação da água impregnada nas partículas.

Após o período de secagem, a casca de amendoim e a fibra de coco verde foram levadas a um moinho de facas (MA683/3) para obter partículas com granulometria de 8mm (Figura 19). A dimensão das partículas foi baseado no trabalho de Sampathrajan et al. (1991) que estudaram propriedades térmicas e mecânicas de painéis particulados à base de resíduos oriundos da fazenda. Nesse trabalho, os autores produziram painéis de baixa densidade com

as partículas de comprimento variando entre 5 – 10 mm. A escolha para utilizar as partículas de 8mm levou em consideração a média desse intervalo.

Figura 19. (a) Moinho de facas. (b) Malha de 8 mm

Finalizado a picagem das matérias-primas no moinho de facas foi elaborado cálculos para averiguar a quantidade de massa necessária para produzir os painéis particulados com densidade de $0,5 \text{ g/cm}^3$, conforme recomendações da Norma ANSI A208.1:1999 – Particleboards.

Fixada a densidade a ser trabalhada foi calculada a quantidade de resíduo (casca de amendoim e fibra de coco verde) necessária para compor o painel experimental. Para determinar o volume do material foram utilizados como parâmetros as medidas do colchão formador de painel (400 mm x 400 mm) e a espessura do painel a ser produzido 20 mm, valor aproximado ao do trabalho de Panyakaew e Fotios (2011) que utilizaram 25 mm.

A Figura 20 sumariza os cálculos empregados para determinar a quantidade de massa necessária para produzir os painéis com densidade de $0,5 \text{ g/m}^3$. É possível observar que foi necessário 1600 g de resíduos (casca de amendoim e fibra de coco verde) para produzir um painel particulado com $0,5 \text{ g/m}^3$ e 400 mm x 400 mm x 20 mm.

Figura 20. Determinação da quantidade de massa (resíduo) gasta por painel

Determinada a quantidade de massa necessária por painel, os resíduos (casca de amendoim e fibra de coco verde) picados (8mm) foram pesados utilizando uma balança eletrônica modelo AY220 (Figura 21 a). Para produzir os painéis particulados à base de casca de amendoim pesou-se uma quantidade de 1600 gramas com auxílio de uma forma plástica branca, enquanto que para produção do painel à base de casca de amendoim + fibra de coco verde (Híbrido) pesou-se 800 gramas de casca de amendoim e 800 gramas de fibra de coco verde (50:50).

Terminado a pesagem das matérias-primas, essas foram transferidas das formas para bacias plásticas com capacidade de 35 litros. Com a finalidade de homogeneizar as matérias-primas (casca de amendoim e fibra de coco verde) com a resina, a massa total pesada na balança foi dividida em duas partes de 400 gramas e posteriormente cada parte remetida para uma bacia (Figura 21 b e c).

a.

b.

c.

Figura 21. (a) Pesagem dos resíduos (b) Separação das matérias-primas. (c) Híbrido

A resina poliuretana à base de óleo de mamona é composta por duas fases, sendo uma fase clara e a outra escura (catalisador-poliol). A proporção de resina utilizada foi de 15% da massa do painel particulado. A Figura 22 ilustra o procedimento de preparação da resina.

a.

b.

c.

Figura 22. (a) Pesagem pré-polímero. (b) Incorporação do poliol. (c) Homogeneização

Após a homogeneização da resina, ela foi adicionada sobre a massa de resíduo e levada ao misturador planetário (MT120) e mantidos durante o período de 5 minutos, para garantir uma melhor homogeneidade de distribuição da resina nas partículas, assegurando propriedades uniformes (Figura 23).

a. b.
Figura 23. (a) Adição de resina. (b) Misturador

Finalizado a homogeneização entre as partículas e a resina no misturador, essas foram transferidas para um molde formador de painel com dimensão de 400 mm x 400 mm. A chapa de aço da prensa hidráulica foi forrada com papel alumínio para facilitar a desmoldagem do painel produzido. Posteriormente, o material foi pré-prensado e inserido em uma prensa hidráulica, a uma temperatura média variando entre 100°C a 110°C, por aproximadamente 10 minutos de prensagem, com pressão média de 5 MPa, para formação do painel. Concluído a prensagem, os painéis foram empilhadas por 72 horas, período em que ocorre a continuação do processo de cura da resina (Figura 24).

Figura 24. (a) Painel com papel alumínio. (b) Painel com molde 400mmX400mm. (c) Material pré-prensado. (d) Prensa hidráulica. (e) Painel híbrido. (f) Painel amendoim

5.4 Preparação dos corpos de prova

Após o término de 72 horas (período de cura), todos os painéis foram esquadrejados com auxílio de uma serra elétrica (Figura 25). A quantidade e as dimensões dos corpos de prova foram baseadas na norma ABNT 14.810:2006 – Chapa de Madeiras Aglomeradas, para

as seguintes propriedades: densidade, inchamento, absorção, módulo de ruptura, módulo de elasticidade na flexão estática e resistência a tração perpendicular (Tabela 26).

Figura 25. Preparação dos corpos de prova

Tabela 26 - Dimensão e Quantidade dos Corpos de Prova

Físico-Mecânicas	Comprimento mm	Largura mm	Quantidade
Densidade	50	50	10
Inchamento	25	25	10
Absorção de água	25	25	10
Módulo de Ruptura	250	50	10
Módulo de Elasticidade	250	50	10
Tração Perpendicular	50	50	10

Fonte: Norma ABNT 14.810:2006 – Chapa de Madeiras Aglomeradas

5.5 Ensaio físico-mecânico

Esse item descreve os procedimentos dos ensaios físicos-mecânicos, obedecendo aos preceitos da norma ABNT 14.810:2006 – Chapa de Madeiras Aglomeradas e as análises experimentais utilizadas para cada variável físico-mecânica.

5.5.1 Ensaios físicos

As características físicas avaliadas nos painéis experimentais foram: densidade, inchamento e absorção de água.

5.5.1.1 Densidade

Os corpos de prova foram aferidos com uso de um paquímetro, para determinar as dimensões dos corpos de prova (comprimento x largura x espessura) e assim calcular o volume. No total, foram obtidos 20 corpos de prova, sendo 10 referentes ao painel particulado a base de casca de amendoim (CA) e o restante referente ao painel particulado à base de casca de amendoim+fibra de coco verde (Híbrido).

Determinado o volume dos corpos de prova, esses foram pesados em uma balança eletrônica (AY220) e sua massa aferida (Figura 26). Com os dados da massa e volume dos corpos de prova foi determinada a densidade utilizando a equação (1).

Figura 26. Pesagem dos corpos de prova

$$D = \frac{M}{V} * 1000000 \quad (1)$$

Onde:

D = densidade do CP em kg/m³;

M = massa do CP em g;

V = volume do CP em mm³

5.5.1.2 Inchamento

Para determinar as dimensões dos corpos de prova (25 x 25 x 20 mm), utilizou-se um paquímetro. No total, foram obtidos 20 corpos de prova, sendo 10 referentes ao painel particulado a base de casca de amendoim (CA) e o restante referente ao painel particulado à base de casca de amendoim+fibra de coco verde (Híbrido).

Determinado as dimensões dos corpos de prova, esses foram inseridos em um recipiente com água destilada (20°C), ficando submersos durante o período de 2h e 24h. Para evitar que os corpos de prova ficassem flutuando sobre a água, utilizou-se uma tela de malha fina e alguns pesos metálicos (Figura 27).

Figura 27. (a) Recipiente sem água. (b) Recipiente com água e corpos de prova

Após o término de cada período (2h e 24h), os corpos de prova foram retirados do recipiente e secados com papel absorvente. Posteriormente, com auxílio de um paquímetro foi aferida a espessura dos corpos de prova (Figura 28).

Figura 28. Medição da espessura dos corpos de prova

Com os dados de espessura dos corpos de prova foi calculado a variável inchamento utilizando a equação (2).

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} * 100 \quad (2)$$

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

5.5.1.3 Absorção

Para determinar as dimensões dos corpos de prova (25 x 25 x 20 mm), utilizou-se um paquímetro. No total, foram obtidos 20 corpos de prova, sendo 10 referentes ao painel particulado a base de casca de amendoim (CA) e o restante referente ao painel particulado à base de casca de amendoim+fibra de coco (Híbrido).

Determinado as dimensões dos corpos de prova, esses foram inseridos em um recipiente com água destilada (20°C), ficando submersos durante o período de 2h e 24h. Para evitar que os corpos de prova ficassem flutuando sobre a água, utilizou-se uma tela de malha fina e alguns pesos metálicos (Figura 29).

Figura 29. Corpos de prova submersos em água destilada

Após o término de cada período (2h e 48h), os corpos de prova foram retirados do recipiente e secados com papel absorvente. Posteriormente, os corpos de prova foram pesados em uma balança eletrônica (AY220).

Com os dados de massa dos corpos de prova foi calculada a variável absorção utilizando a equação (3).

$$A = \frac{M_1 - M_0}{M_0} * 100 \quad (3)$$

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.

5.5.1.4 Análise experimental

Os valores experimentais das variáveis físicas (Densidade, Inchamento e Absorção) foram avaliados pela Estatística Descritiva, com a finalidade de organizar os dados experimentais. Como medida de tendência central foi adotada a média aritmética e como medida de dispersão o coeficiente de variação. Com objetivo de diagnosticar algum *outlier* nos dados foram utilizados gráficos *boxplot* gerados no software R versão 2.5.1.

Após a análise descritiva dos dados (variáveis físicas), esses foram submetidos a uma análise inferencial para diagnosticar se existe diferença significativa entre os tratamentos estudados (painel casca de amendoim (CA) e painel casca de amendoim e fibra de coco verde (Híbrido)).

Primeiramente, os dados referentes às variáveis físicas (Densidade, Inchamento e Absorção) foram submetidos ao Teste de Anderson Darling, para averiguar a normalidade dos resíduos e posteriormente testados pelo Teste de Bartlett, para averiguar a homogeneidade das variâncias. Esses testes foram testados no software R versão 2.5.1, com $P < 0,05$. A realização desses testes é necessária, pois segundo Nogueira (2007) são pressuposições para realizar a ANOVA.

Posteriormente aos testes de pressuposição da ANOVA, foi montado um experimento de acordo com o delineamento inteiramente casualizado (DIC) para a variável densidade, onde o fator estudado correspondeu a painel com dois níveis (Híbrido e CA), totalizando em dois tratamentos, sendo que cada tratamento dispunha de dez repetições (ABNT 14.810:2006). A aplicação desse delineamento (DIC) é justificada pela afirmação de Nogueira (2007), em que nesse delineamento o princípio básico da experimentação “controle local” não é aplicado, devido supor que o ambiente experimental ou material seja homogêneo, assim os tratamentos são distribuídos às unidades experimentais completamente ao acaso ou aleatório.

Para variável inchamento foram montados dois experimentos, ambos dispostos em delineamento inteiramente casualizado (DIC). O primeiro experimento correspondeu à análise

das 2 h, constituído pelo fator painel com dois níveis (Híbrido e CA), totalizando em dois tratamentos, sendo que cada tratamento dispunha de dez repetições (ABNT 14.810:2006). Já o segundo experimento correspondeu à análise das 24 h, constituído por um fator com dois níveis (Híbrido e CA), totalizando em dois tratamentos, sendo que cada tratamento dispunha de dez repetições (ABNT 14.810:2006).

Com relação a variável absorção foram montados dois experimentos, ambos dispostos em delineamento inteiramente casualizado (DIC). O primeiro experimento correspondeu à análise das 2 h, constituído por um fator com dois níveis (Híbrido e CA), totalizando em dois tratamentos, sendo que cada tratamento dispunha de dez repetições (ABNT 14.810:2006). Já o segundo experimento correspondeu à análise das 24 h, constituído por um fator com dois níveis (Híbrido e CA), totalizando em dois tratamentos, sendo que cada tratamento dispunha de dez repetições (ABNT 14.810:2006).

Os modelos estatísticos adotados para avaliar a variáveis físicas foram:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + e_{ijk} \quad (4)$$

Y_{ijk} = k-ésima observação da variável densidade no i-ésimo nível do fator painel (Híbrido ou CA) na j-ésima repetição;

μ = média geral

t_i = efeito do i-ésimo nível de fator painel, i = Híbrido e CA

e_{ijk} = efeito residual

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + e_{ijk} \quad (5)$$

Y_{ijk} = k-ésima observação da variável inchamento e absorção 2 h e 24 h no i-ésimo nível do fator painel (Híbrido ou CA) na j-ésima repetição;

μ = média geral

t_i = efeito do i-ésimo nível de fator painel, i = Híbrido e CA

e_{ijk} = efeito residual

Pelo fato, das variáveis físicas serem fatores qualitativos, elas foram analisadas por meio do Teste F quando a ANOVA foi significativa, sendo ambos testados a $P < 0,05$. O software utilizado para interpretar esse resultado foi o Programa R versão 2.5.1.

Segundo Nogueira (2007), a independência dos erros é outro fator relevante na pressuposição da ANOVA, sendo que a independência dos erros é garantida pelo princípio

básico da experimentação a casualização, pois dessa maneira, todas as unidades experimentais têm a mesma chance de receber determinado tratamento.

Melo et al. (2010) demonstraram em seu estudo que ocorre variações (mesmo tratamento) nas densidade nominais dos painéis experimentais à base de *Eucalyptus grandis*. De acordo com os autores essas variações ocorrem durante a manufatura dos painéis.

Considerando essas informações, torna-se necessário efetuar casualização dentro de um mesmo painel, ou seja, não se podem selecionar apenas as regiões centrais dos painéis e descartar as bordas. Nesse âmbito, foi efetuado a casualizações das unidades experimentais (corpos de prova) através de sorteios, em que cada corpo de prova foi marcado com um respectivo número (Figura 30 e Figura 31).

Figura 30. Esquema da casualização de todos os corpos de prova de um painel experimental

a.

b.

Figura 31. (a) Casualização inchamento e absorção. (b) Casualização densidade

5.5.2 Ensaio mecânico

As características mecânicas avaliadas nos painéis experimentais foram: resistência e módulo de elasticidade à flexão e adesão interna.

5.5.2.1 Resistência e módulo de elasticidade à flexão

Para esse ensaio foram obtidos 20 corpos de prova, sendo 10 referentes ao painel experimental à base de casca de amendoim (CA) e os outros 10 referentes ao painel experimental a base de casca de amendoim e fibra de coco verde (Híbrido). 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) (Figura 32).

Figura 32. Máquina Universal de Ensaio Mecânicos

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, para que esses valores fossem inseridos no software da máquina para realizar o ensaio (Figura 33).

Figura 33. (a) Medição largura. (b) Medição espessura

Finalizado as medições dos 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 para aplicar a carga 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 34).

Figura 34. (a) Apoios da máquina. (b) Corpo de prova posicionado. (c) Corpo de prova rompido

A resistência e o módulo de elasticidade à flexão (MOR e MOE) foram determinados pelas seguintes equações:

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

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.

5.5.2.2 Adesão interna

Para avaliar essa variável mecânica foram obtidos 20 corpos de prova, sendo 10 referentes ao painel experimental à base de casca de amendoim (CA) e os outros 10 referentes ao painel experimental à base de casca de amendoim e fibra de coco verde (Híbrido). Para averiguar a Adesão Interna (AI) foi utilizada a Máquina Universal de Ensaio Mecânicos (DL 30.000), a mesma usada no ensaio de resistência e módulo de elasticidade a flexão.

Antes de iniciar o ensaio na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos, as dimensões dos corpos de prova foram aferidas com um paquímetro. Posteriormente, os corpos de prova foram fixados (cola araldite) no dispositivo da máquina (Figura 35).

Figura 35. Fixação do corpo de prova

Finalizado as medições e as fixações dos corpos de prova, a máquina universal de ensaios mecânicos foi ajustada para uma velocidade de 4mm/min (ABNT 14.810:2006 – Chapa de Madeiras Aglomeradas). Na sequência, a máquina foi acionada até a ruptura do corpo de prova (Figura 36).

Figura 36. (a) Corpo de prova posicionado. (b) Corpo de prova rompido

Com os dados (dimensões dos corpos de prova) aferidos pelo paquímetro mais o valor da carga de ruptura fornecido pela máquina após o ensaio, foi calculado a tração perpendicular mediante a equação:

$$T = \frac{P}{S} \quad (9)$$

Onde:

T = resistência à tração perpendicular, em MPa;

P = carga de ruptura, em N;

S = área da superfície do CP, em mm²

5.5.2.3 Análise experimental

Os valores experimentais das variáveis mecânicas (MOR, MOE e Adesão Interna) foram avaliados pela Estatística Descritiva, com o propósito de efetuar a organização dos dados experimentais. Com objetivo de diagnosticar algum *outlier* nos dados foram utilizados gráficos *boxplot* gerados no software R versão 2.5.1.

Após a análise descritiva dos dados, esses foram submetidos a uma análise inferencial para diagnosticar se existe diferença significativa entre os tratamentos estudados. Primeiramente, os dados referentes às variáveis mecânicas foram submetidos ao Teste de Anderson Darling, para averiguar a normalidade dos resíduos e posteriormente testados pelo Teste de Bartlett, para averiguar a homogeneidade das variâncias. Esses testes foram testados no software R versão 2.5.1, com $P < 0,05$.

Posteriormente aos testes de pressuposição da ANOVA, foram montados dois experimentos, sendo um para investigar o desempenho da variável MOR e o outro para a variável MOE. Os experimentos foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), onde o fator estudado correspondeu a painel com dois níveis (Híbrido e CA), totalizando em dois tratamentos (cada experimento), sendo que cada tratamento dispunha de dez repetições (ABNT 14.810:2006).

O modelo estatístico adotado para avaliar os experimentos foi:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + e_{ijk} \quad (10)$$

Y_{ijk} = k-ésima observação da variável MOR e MOE no i-ésimo nível do fator painel (Híbrido ou CA) na j-ésima repetição;

μ = média geral

t_i = efeito do i-ésimo nível de fator painel, i = Híbrido e CA

e_{ijk} = efeito residual

A variável MOR e MOE por ser um fator qualitativo foram analisadas por meio do Teste F quando a ANOVA foi significativa, sendo testados a $P < 0,05$. O software utilizado para interpretar esse resultado foi o Programa R versão 2.5.1.

Para a variável Adesão Interna (AI) o experimento foi montado segundo o delineamento em blocos casualizados (DBC), onde a fonte de variação carga de ruptura foi o controle local (Bloco) imposto e dividido em três grupos: carga menor, carga intermediária e carga maior.

O fator estudado correspondeu a painel com dois níveis (Híbrido e CA), totalizando em dois tratamentos, sendo que cada tratamento dispunha de dez repetições (Blocos - ABNT 14.810:2006). Segundo Nogueira (2007) a utilização de Blocos (controle local) no experimento é uma forma de minimizar o erro experimental, neutralizando o efeito local nos dados obtidos, devido à presença de uma heterogeneidade no ambiente ou material experimental.

O modelo estatístico adotado para avaliar a variável Adesão Interna (AI) foi:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij} \quad (11)$$

Y_{ij} = valor observado, da variável AI, referente ao i-ésimo nível do fator painel (Híbrido ou CA) aplicado no j-ésimo bloco;

μ = média geral

t_i = efeito do i-ésimo nível de fator painel, i = Híbrido e CA

b_j = efeito do j-ésimo bloco

e_{ij} = efeito residual

A variável Adesão Interna (AI) por ser um fator qualitativo foi analisada por meio do Teste F quando a ANOVA foi significativa, sendo testado a $P < 0,05$. O software utilizado para interpretar esse resultado foi o Programa R versão 2.5.1.

5.6 Análise microestrutural

A análise microestrutural dos painéis experimentais (casca de amendoim e híbrido) foi realizada no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), marca Hitachi modelo Analytical Table Top Microscope TM300 (Figura 37).

Figura 37. Microscópio Eletrônico Varredura

Dois corpos de prova (casca de amendoim e híbrido) com dimensões de 1cm x 1cm x 1cm foram utilizados para efetuar análise qualitativa microestrutural no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) (Figura 38).

Figura 38. Corpo de prova no Microscópio Eletrônico de Varredura

5.7 Ensaio de durabilidade

Para investigar os agentes de degradação e desempenho dos painéis produzidos quando em contato com fonte de umidade, temperatura e radiação UV, foi realizado o ensaio de envelhecimento natural e acelerado.

5.7.1 Envelhecimento natural

Para averiguar o desempenho mecânico (Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade) dos painéis experimentais híbridos após a realização do ensaio de Envelhecimento Natural, foram produzidos 10 corpos de prova, com dimensão de 250 x 50 x 20 mm. Com o propósito de oferecer proteção aos corpos de prova dos agentes de degradação, foi aplicado duas camadas de Stain Impregnante. Esse produto é recomendado para proteção de madeiras contra fungos, raios UV e água (Figura 39).

a.

b.

Figura 39. (a) Corpos de prova pintados com Stain. (b) Stain

Após a aplicação do Stain, 10 corpos de prova foram selecionados aleatoriamente e transferido para o campo de envelhecimento natural, localizado na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, próximo ao laboratório de Construções Rurais e Ambiente. O campo de Envelhecimento Natural possui uma área de aproximadamente 300 m², sendo o espaço físico caracterizado pela predominância de uma vegetação e de alguns suportes de fixação para materiais.

Os corpos de prova foram fixados sobre o suporte utilizando arame de ferro galvanizado, para evitar a interferência do vento na posição dos corpos de prova (Figura 40). Segundo recomendações da Norma ASTM D 1435:1994 - Standard Practice for Outdoor Weathering of Plastics, os corpos de prova permaneceram durante o período de 6 meses e posteriormente retirados para avaliação das propriedades mecânicas (MOR e MOE). Os resultados obtidos nesse ensaio foram comparados com os resultados de corpos de prova não envelhecidos.

Figura 40. Fixação dos corpos de prova

O ambiente físico (temperatura, umidade, velocidade do vento, chuva e radiação solar.) do campo de envelhecimento natural foi caracterizado pelos valores médios experimentais coletados pela estação meteorológica, marca Davis, modelo Vantage Pro2, durante o período de 21 de dezembro (2011) a 21 de junho de 2012 (Figura 41). Somente a radiação solar foi

quantificada nos horários das 08h00min, 09h00min, 10h00min, 11h00min, 12h00min, 13h00min, 14h00min, 15h00min, 16h00min, 17h00min e 18h00min, pelo fato de corresponder o início e término do registro da radiação solar pela estação meteorológica.

Figura 41. Estação meteorológica

5.7.2 Envelhecimento Acelerado

Para averiguar o desempenho mecânico (Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade) dos painéis experimentais híbridos após a realização do ensaio de Envelhecimento Acelerado foram produzidos 10 corpos de prova, com dimensão de 250 x 50 x 20 mm. Todos os corpos de prova foram pintados com Stain Impregnante, com o propósito de comparar com os resultados obtidos após o envelhecimento natural.

O ensaio de Envelhecimento Acelerado foi testado com base nos preceitos da APA The Engineered Wood Association. Os corpos de prova foram expostos ao banho com circulação a 66°C, modelo Marcon, durante o período de 8 horas. Posteriormente, os corpos de prova foram transferidos para estufa digital a 82°C, modelo Nova Ética, durante 14,5 horas. Após a secagem na estufa, os corpos de prova foram remetidos a termotron a 20°C e 65% de umidade relativa, modelo SM-3.5S durante 1,5 horas (Figura 42).

Figura 42. (a) Corpos de prova imerso em banho maria. (b) Corpos de prova na estufa. (c) Corpos de prova na termotron

5.7.3 Análise experimental

Os valores experimentais das variáveis mecânicas (MOR e MOE) dos corpos de prova submetidos ao envelhecimento acelerado, envelhecimento natural e não envelhecido foram avaliados pela Estatística Descritiva. Com objetivo de diagnosticar *outlier* nos dados foram utilizados gráficos *boxplot* gerados no software R versão 2.5.1.

Após a análise descritiva dos dados (variáveis mecânicas), esses foram submetidos a uma análise inferencial para diagnosticar a existência de diferença significativa entre os tratamentos estudados. Primeiramente, os dados referentes às variáveis mecânicas foram submetidos ao Teste de Anderson Darling, para averiguar a normalidade dos resíduos e posteriormente testados pelo Teste de Bartlett, para averiguar a homogeneidade das variâncias. Esses testes foram testados no software R versão 2.5.1, com $P < 0,05$.

Posteriormente aos testes de pressuposição da ANOVA, foram montados dois experimentos, sendo um para investigar o desempenho da variável MOR e o outro para a variável MOE. Os experimentos foram dispostos em um delineamento inteiramente

casualizado (DIC), onde o fator estudado correspondeu a Durabilidade com três níveis (Envelhecido Acelerado, Envelhecido Natural e Não Envelhecido), totalizando em três tratamentos (cada experimento), sendo que cada tratamento dispunha de dez repetições (ABNT 14.810:2006).

O modelo estatístico adotado para avaliar os experimentos foi:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + e_{ijk} \quad (12)$$

Y_{ijk} = k-ésima observação da variável MOR e MOE no i-ésimo nível do fator Durabilidade (Envelhecido Acelerado, Envelhecido Natural e Não Envelhecido) na j-ésima repetição;

μ = média geral

t_i = efeito do i-ésimo nível de fator Durabilidade, i = Envelhecido Acelerado, Envelhecido Natural e Não Envelhecido

e_{ijk} = efeito residual

A variável MOR e MOE, por ser um fator qualitativo, foram analisadas por meio do Teste F quando a ANOVA foi significativa, sendo testados a $P < 0,05$. O software utilizado para interpretar esse resultado foi o Programa R versão 2.5.1.

5.8 Ensaio condutividade térmica

O método utilizado para averiguar a condutividade térmica do material foi o “Método do Fio Quente Paralelo”. De acordo com Sacht (2010) esse método calcula essa propriedade mediante ao gradiente de temperatura gerado por uma fonte de calor em um meio material de dimensões infinitas. Nesse equipamento há dois fios, um sendo o central o fio quente e o outro 1,6 cm do central o termopar. A condutividade térmica do material é obtida pela aplicação de uma corrente contínua ao fio quente e, uma vez por segundo, verifica-se o gradiente com o auxílio do termopar.

Esse ensaio foi realizado no laboratório de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos. Foram fabricados 6 corpos de prova com densidade de $0,5 \text{ g/m}^3$ e $10,5 \text{ cm} \times 5,5 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$. Na parte superior de um dos corpos de prova foram feitos dois sucros, com objetivo de inserir o fio quente (resistência) e o termopar (Figura 43).

Figura 43. (a) Corpo de prova. (b) Formação dos sucros. (c) Resistência e termopar

Para evitar a influência do ar no ensaio, foram sobrepostos três corpos de prova e posicionada uma barra de metal na parte superior do corpo de prova ensaiado (Figura 44). Após o posicionamento do fio sobre o corpo de prova, algumas informações foram inseridas no *software*, tais como: material (isolante ou não); tempo de ensaio (min); temperatura ambiente e da amostra ($^{\circ}\text{C}$); tipo de termopar; resistência do fio (Ohms); densidade da amostra (kg/m^3) e distância fio-termopar (m) (Tabela 27).

Figura 44. Corpo de prova sobreposto pela barra de metal

Tabela 27 - Dados inseridos no *software*

Dados Preliminares	
Tempo de Ensaio	20 minutos
Temperatura Amostra	26 $^{\circ}\text{C}$
Tipo de Termopar	KANTHAL
Resistência do Fio	6.4900 ohms/m
Tipo de Resistência	KANTHAL
Montagem	PARALELA
Densidade da Amostra	0,5 g/m^3
Distância Fio-Termopar	0.0160 m

Posteriormente, foi aplicada uma corrente contínua ao fio quente (resistência). A cada segundo era verificado o gradiente de temperatura com o termopar. No final do experimento o

software forneceu os seguintes resultados: corrente na amostra (A), estimativa inicial, intervalo de tempo (s); e Resultados: temperatura de ensaio (°C), condutividade térmica (λ), calor específico (J/kgK), difusividade térmica (m^2/s) e coeficiente de correlação.

5.8.1 Análise estatística condutividade térmica

O valor experimental obtido no ensaio de condutividade térmica foi comparado com os valores mencionados nos trabalhos relatados na revisão de literatura, por meio da aplicação da Estatística Descritiva.

5.9 Fator de ganho de calor solar de elementos opacos

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 percentagem de radiação transmitida para o interior de um edifício.

Com o dado de condutividade térmica e espessura, da cobertura e do forro, foi calculada a resistência térmica do material, adotando a equação 13 da Normativa Desempenho Térmico de Edificações (02:135.07-001/2).

$$R = e / \lambda \quad (13)$$

Onde:

R = Resistência térmica (m^2K/W);

e = Espessura do forro (m);

λ = Condutividade térmica do forro $W/(mK)$.

Para calcular a transmitância térmica da cobertura e do forro, foi utilizada a equação 14 estipulada pela Normativa Desempenho Térmico de Edificações (02:135.07-001/2).

$$U = 1 / R \quad (14)$$

Onde:

U = Transmitância térmica $W/(m^2K)$;

R = Resistência térmica (m^2K/W).

Portanto, com base nos valores de condutividade térmica, resistência térmica total e transmitância térmica total foi determinado o Fator Solar (FS_o) pela equação 15, no período de verão, maior tendência de estresse térmico, para duas instalações avícolas a saber: a) com cobertura de fibrocimento pintada de branco e b) com cobertura de fibrocimento pintada de branco e forro, para o período de verão. O tipo de telha (fibrocimento) escolhido para essa avaliação se pautou no trabalho desenvolvido por CRAVO et al. (2012) que diagnosticou maior frequência desse tipo de material de cobertura em uma integração avícola no Estado de São Paulo. A Tabela 28 apresenta os dados de entrada, utilizados para calcular o FS_o .

Tabela 28 - Dados de entrada para o cálculo do Fator Solar

Telha de Fibrocimento		Painel Híbrido	
Densidade	1,90 g/cm ³	Densidade	0,50 g/cm ³
Condutividade Térmica	0,95 W/mK	Condutividade Térmica	0,29 W/mK
Espessura	0,80 cm	Espessura	2,00 cm

$$FS_o = 4 \times U \times \alpha \quad (15)$$

Onde:

FS_o = Fator Solar de elementos opacos;

U = Transmitância térmica W/(m²K);

α = Absorção da cor externa branca.

A Figura 45 ilustra o telhado de fibrocimento (0,8 cm de espessura), forro híbrido (2 cm) e camada de ar (25 cm) para cálculo do FS_o de um galpão avícola.

Figura 45. Representação do telhado de fibrocimento pintada de branco e forro híbrido para um galpão avícola

Fonte: Adaptado da Normativa Desempenho Térmico de Edificações (02:135.07-001/2)

5.9.1 Análise experimental

Para averiguar a quantidade de radiação solar transmitida para o interior desses aviários (sem forro e com forro), utilizou-se os FS_0 e os dados de radiação solar coletados por uma estação meteorológica (Vantage Pro2) localizada na região sudeste do Brasil, no centro norte do estado de São Paulo. Foram selecionados dados do mês de janeiro de 2012, por ser a época do ano com incidência de maiores temperaturas.

Com base nesses valores foi elaborado um experimento de acordo com o delineamento em blocos casualizados (DBC) em que os tratamentos foram organizados em esquema fatorial 2x6, onde os fatores estudados corresponderam a Ambiente Térmico e Horas. O fator Ambiente Térmico consistiu-se de dois níveis (Sem Forro e Com Forro) e o fator Horas compreendeu a seis níveis (08h00min, 10h00min, 12h00min, 14h00min, 16h00min e 18h00min), totalizando doze tratamentos. As repetições de cada tratamento foram consideradas os dias do mês de janeiro, ou seja, cada tratamento dispunha de 31 repetições.

Os modelos estatísticos adotados para a análise dos dados foram:

$$Y_{ijk} = \mu + a_i + h_j + (ah)_{ij} + e_{ijk} \quad (16)$$

Y_{ijk} = k-ésima observação da variável radiação solar transmitida no j-ésimo nível do fator horário e no i-ésimo nível do fator ambiente térmico

μ = média geral

a_i = i-ésimo nível de fator ambiente térmico, i = Sem Forro e Com Forro

h_j = j-ésimo nível do fator horário, j = 8, 10, 12, 14, 16 e 18

$(ah)_{ij}$ = efeito da interação entre o i-ésimo nível do fator ambiente térmico com o j-ésimo nível do fator horário

e_{ijk} = efeito residual

$$Y_{ij} = a + bh_i + e_{ij} \quad (17)$$

Y_{ij} = j-ésima observação da variável radiação solar transmitida no i-ésimo nível do fator horário

a = constante de regressão

b = coeficiente de regressão

e_{ij} = efeito residual

Os dados qualitativos (fator – ambiente térmico) foram analisados por meio do teste F quando a ANOVA foi significativa, sendo ambos testados a $P < 0,05$. Já os dados quantitativos (fator – horas) foram analisados por meio da regressão. O software utilizado para interpretação dos dados foi o Programa R versão 2.5.1.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse item apresenta os resultados experimentais referentes às propriedades físico-mecânicas, de durabilidade, térmicas e fator solar. Para todas essas variáveis foram feitas análises estatística descritiva e inferencial. Os valores médios foram comparados com as indicações da norma ANSI A208.1-1999 e com trabalhos da literatura. Vale resaltar que a norma ANSI estabelece valores para painéis de partículas de madeira, no entanto, ela foi utilizada nesse trabalho devido à semelhança entre os produtos.

6.1 Ensaios físicos

Os resultados experimentais para as propriedades físicas foram: densidade, inchamento e absorção de água. Para cada característica física foi efetuado uma análise descritiva e inferencial.

6.1.1 Densidade

Estatística Descritiva

Os painéis experimentais (casca de amendoim; casca de amendoim e fibra de coco verde - híbrido) foram fabricados com densidade nominal de 500 kg/m^3 . Com o objetivo de resumir os dados experimentais de densidade desses painéis, foi sintetizada a Tabela 29, a qual sumariza a medida de tendência central, dispersão, assimetria e curtose.

Nota-se na Tabela 29 que o painel experimental à base de casca de amendoim apresentou valor médio de densidade superior ao painel híbrido. A variação (CV%) dos painéis foi baixa, pois segundo Fonseca e Martins (1996) distribuições que apresentam $CV < 15\%$ possuem baixa dispersão.

O coeficiente de assimetria (A_s) é uma medida que quantifica o distanciamento de um conjunto de dados em relação a simetria, sendo classificado em assimetria à direita ($A_s > 0$); assimetria à esquerda ($A_s < 0$); uma simetria (amostra pode ser considerada vinda de uma distribuição normal ($A_s = 0$)) (Figura 46) (COSTA, 2003).

Figura 46. Gráficos com diferentes valores do As para uma distribuição
 Fonte: Costa (2003)

O coeficiente de curtose (K) é uma medida que quantifica o grau de achatamento da distribuição de frequência de um conjunto de dados, tendo a curva normal como referência. O coeficiente é dado por: $K > 3$ indica uma distribuição leptocúrtica; $K < 3$ indica uma distribuição platicúrtica; $K = 3$ indica distribuição mesocúrtica (Figura 47) (COSTA, 2003).

Figura 47. Gráfico dos diferentes graus de achatamento relativos a uma distribuição de frequência
 Fonte: Costa (2003)

O painel experimental à base de casca de amendoim apresentou coeficiente de assimetria menor que 0. De acordo com Fonseca e Martins (1996), coeficiente de assimetria menor que 0 caracteriza distribuições assimétricas a esquerda. Já o painel híbrido exibiu coeficiente de assimetria maior que 0, que segundo os mesmos autores, caracteriza uma distribuição assimétrica a direita. Quanto ao coeficiente de curtose, ambos os painéis exibiram valores menores que 3, ou seja, o achatamento das distribuições são classificadas como platicúrticas (Tabela 29).

Tabela 29 - Resumo dos valores experimentais - densidade

	Média Kg/m³	CV(%)	Assimetria	Curtose
Casca de Amendoim	542,06	5,85	-0,2	2,24
Híbrido	503,04	8,09	0,07	1,73
CV(%) Coeficiente de Variação				

A Figura 48 sumariza a comparação entre gráficos *boxplot* para os painéis experimentais. Esses gráficos são utilizados para avaliar a dispersão e a simetria, bem como identificar os possíveis dados estranhos denominados de *outliers*, de uma distribuição. Observa-se que os painéis experimentais produzidos com densidade nominal de 500 kg/m³, apresentaram variação na densidade observada. Além disso, nota-se que o painel experimental de amendoim apresentou menor dispersão dos dados, podendo ser constatado pelo tamanho da cauda.

Iwakiri et al. (2004) e Melo et al. (2010) também encontraram variação na densidade observada dos painéis experimentais. Segundo Melo et al. (2009), essas variações ocorrem durante a manufatura dos compostos e têm como principal causa variações na massa, no teor de umidade e na falta de homogeneidade de distribuição das partículas no colchão.

Figura 48. Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais

De acordo com a norma ANSI A208.1-1999, painéis particulados de baixa densidade devem apresentar densidade menores que 640 Kg/m^3 . Com base nos valores médios experimentais, observa-se na Figura 49 que os painéis experimentais demonstraram valores preconizados pela norma.

Figura 49. Valores experimentais e normalizados de densidade

Estatística Inferencial

A Tabela 30 sintetiza os testes de pressuposição (Barlett e Anderson Darling) para ANOVA. Visualiza-se que os resíduos experimentais exibiram P-valores não significativo a $P < 0,05$, ou seja, as variâncias são homogêneas e o resíduo segue distribuição normal. Dessa forma, pode-se utilizar ANOVA para efetuar análise inferencial dos dados.

Tabela 30 - Pressuposição ANOVA	
Teste	P-valor
Bartlett	0,167700367 ^{NS}
Anderson Darling	0,853121002 ^{NS}

^{NS} Não significativo a $P < 0,05$

Na Tabela 31 estão sumarizados os valores obtidos para ANOVA para a variável densidade. Observa-se que não foi constatada significância ($P < 0,05$) para o fator Painel, demonstrando que não existe efeito de tratamento para essa variável. Dessa forma pode-se afirmar que não existe diferença significativa entre as densidades dos painéis experimentais (casca de amendoim e híbrido).

Tabela 31 - ANOVA - Densidade					
Fator	GL	SQ	QM	F	P-valor
Painel	1	7612,802	7612,802	4,179757	0,0558 ^{NS}
Resíduos	18	32784,31	1821,35		

^{NS} Não significativo a $P < 0,05$

Esse resultado demonstra maior confiabilidade para avaliação das demais propriedades desse estudo, uma vez que Melo et al. (2010) e Iwakiri et al. (2008) diagnosticaram elevados coeficientes de correlação entre a densidade e propriedades mecânicas (Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade).

Além de influenciar na propriedade mecânica a densidade apresenta relação com a condutividade térmica dos materiais. Zhou et al. (2010) e Panyakaew e Fotios (2011) demonstram em seus estudos que o aumento da densidade resulta no aumento da condutividade térmica do material, uma vez que os vazios entre as fibras das placas decrescem com o aumento da densidade.

6.1.2 Inchamento

Na Tabela 32 estão esboçados os valores descritivos para variável inchamento (2 horas e 24 horas). Visualiza-se, que durante as 2 horas o painel híbrido apresentou valor médio experimental inferior ao painel de casca de amendoim, mantendo o mesmo comportamento às 24 horas.

Com relação à dispersão dos dados, o painel híbrido exibiu maiores valores (2 horas e 24 horas) de CV% comparado ao painel de casca de amendoim. Observa-se que no período das 2 horas os painéis experimentais (casca de amendoim e híbrido) tiveram maior variação para essa variável, sendo reduzida com o passar das horas, conforme constatado às 24 horas. A hipótese que pode explicar a redução do CV% para essa variável é devido os corpos de provas estarem saturados com água no período das 24 horas. Conforme foi constatado no item anterior, existe variação na densidade dos painéis e consequentemente variação nos espaços vazios dos painéis. De acordo com Fonseca e Martins (1996), os painéis experimentais possuem baixa dispersão (Tabela 32).

O coeficiente de assimetria dos painéis experimentais foram maiores que 0, caracterizando distribuições assimétrica a direita. Com relação aos coeficientes de curtose o valores foram menores que 3 (platicúrticas), com exceção do painel híbrido a 24 horas que exibiu valor 3 (mesocúrtica) (Tabela 32) (FONSECA E MARTINS, 1996).

Tabela 32 - Resumo dos valores experimentais - inchamento				
Painel	Média %	CV(%)	Assimetria	Curtose
2 horas				
Casca de Amendoim	8,36	10,04	0,14	2,04
Híbrido	8,18	12,52	0,424	2,66
24 horas				
Casca de Amendoim	18,92	5,42	0,34	2,32
Híbrido	18,1	8,82	0,82	3
CV(%) Coeficiente de Variação				

A Figura 50 sumariza os gráficos boxplot, para variável inchamento às 2 horas e 24 horas dos painéis experimentais. Nota-se, que essa variável apresentou variações nos painéis experimentais e apresenta relação com a densidade dos painéis.

De acordo com Melo et al. (2010) inúmeros aspectos podem influenciar essa propriedade física, tais como, razão de compactação, liberação de tensões geradas na prensagem, variáveis relacionadas ao ciclo de prensagem, quantidade e qualidade de aditivos (adesivo e parafina), dentre outros, não sendo a massa específica, isoladamente, um parâmetro adequado para predição da variação do inchamento dimensional dos painéis.

a.

Figura 50. (a) Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais Inchamento 2 horas. (b) Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais Inchamento 24 horas

Com o intuito de comparar o desempenho físico (inchamento) dos painéis experimentais frente aos valores da literatura foram utilizados os dados sumarizados na Tabela 33, referente a painéis a base de resíduos agroindustriais.

Tabela 33 - Valores médios de inchamento experimental e da literatura

	2h (%)	24h (%)	Fonte
Híbrido	8,18	18,1	Estudo
Casca de Amendoim	8,36	18,92	
Fibra de Papiro	24	33	Tangjuank e Kumfu (2011)
Caule de Girassol	19,15	25,05	Bektas et al. (2005)
Casca de amendoim	11,46	15,34	Guler et al. (2007)
Folha de abacaxi	20	27	Tangjuank (2011)

Com base nos valores da Tabela 33 foi sintetizado o gráfico Inchamento 2 horas e 24 horas, representados pela Figura 51 e 52, respectivamente. Observa-se na Figura 51 que os valores médios experimentais obtidos dos painéis foram menores que os extraídos da literatura, demonstrando que os painéis em estudo exibem maior estabilidade dimensional para variável inchamento.

Figura 51. Valores médios experimentais de inchamento 2 horas e dados da literatura

No período das 24 horas foi constatado comportamento semelhante ao ocorrido às 2 horas, em que os painéis experimentais exibiram valor médio inferior aos relatados na literatura para painéis de baixa densidade à base de resíduo agroindustrial (Figura 52).

Figura 52. Valores médios experimentais de inchamento 24 horas e dados da literatura

Estatística Inferencial

Os testes de pressuposição para ANOVA (Barlett e Anderson Darling) estão representados na Tabela 34. Visualiza-se que os resíduos experimentais exibiram P-valores não significativo a $P < 0,05$, ou seja, as variâncias são homogêneas e o resíduo segue

distribuição normal. Dessa forma, pode-se utilizar ANOVA para efetuar análise para inchamento 2 horas e 24 horas.

Tabela 34 - Pressuposição ANOVA

Teste	P-valor
2 horas	
Bartlett	0,564533112 ^{NS}
Anderson Darling	0,685387978 ^{NS}
24 horas	
Bartlett	0,204841677 ^{NS}
Anderson Darling	0,641274222 ^{NS}
^{NS} Não significativo a P<0,05	

Para o período das 2 horas não foi constatada diferença significativa ($P<0,05$), demonstrando que não existe efeito de tratamento para essa variável durante as 2 horas. Portanto, pode-se afirmar que não existe diferença significativa entre os valores médios de inchamento 2 horas para os painéis experimentais (Tabela 35).

Tabela 35 - ANOVA – Inchamento 2 horas

Fator	GL	SQ	QM	F	P-valor
Painel	1	0,163756	0,163756	0,186618	0,6709 ^{NS}
Resíduos	18	15,79486	0,877492		

^{NS} Não significativo a P<0,05

Às 24 horas não foi diagnosticado significância para o fator painel ($P<0,05$), ou seja, o tratamento em estudo não teve efeito, a diferença entre as médias é devido ao acaso. Portanto, pode-se afirmar que não existe diferença significativa entre os valores médios de inchamento 24 horas dos painéis experimentais (Tabela 36).

Tabela 36 - ANOVA – Inchamento 24 horas

Fator	GL	SQ	QM	F	P-valor
Painel	1	3,362411	3,362411	1,862686	0,1891 ^{NS}
Resíduos	18	32,49255	1,805142		

^{NS} Não significativo a P<0,05

6.1.3 Absorção

O painel experimental híbrido exibiu valor médio experimental superior ao de casca de amendoim para os dois períodos estudados. Quanto à variação, os painéis apresentaram baixos CV%, podendo ser classificado segundo Fonseca e Martins (1996) ($CV\% < 15$) como baixa dispersão. Apesar da baixa variabilidade o painel híbrido obteve maior variação no período estudado. Esse fenômeno demonstra distribuição heterogênea para absorção de água, ou seja, existem pontos dos painéis em que ocorre maior absorção de água, enquanto que outras regiões ocorrem menor absorção de água (Tabela 37).

O coeficiente de assimetria dos painéis experimentais foram maiores que 0 (distribuições assimétrica a direita), com exceção ao painel híbrido no período das 2 horas que apresentou valor inferior a 0 (distribuição assimétrica esquerda). Para os coeficientes de curtose os valores foram menores que 3 (platicúrticas), com exceção ao painel híbrido que exibiu valor superior a 3 (leptocúrtica) (Tabela 37).

Tabela 37 - Resumo dos valores experimentais - absorção

Painel	Média %	CV(%)	Assimetria	Curtose
2 horas				
Casca de Amendoim	21,27	3,71	0,02	1,54
Híbrido	28,82	6,36	-0,34	1,74
24 horas				
Casca de Amendoim	61,13	4,95	0,05	1,78
Híbrido	70,96	13,87	1,43	4,42

CV(%) Coeficiente de Variação

A Figura 53 sumariza os gráficos boxplot, para variável absorção às 2 horas e 24 horas. Nota-se, que o painel híbrido exibiu um *Outlier* (94,69) no período das 24 horas, o qual pode implicar nos resultados de pressuposição da ANOVA.

a.

b.

Figura 53. (a) Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais Absorção 2 horas. (b) Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais Absorção 24 horas

Com o propósito de comparar o desempenho dessa variável (absorção) entre os painéis experimentais com alguns valores da literatura foram utilizados os dados sumarizados na Tabela 38, os quais são referentes a estudos de painéis fabricados com resíduos agroindustriais.

Tabela 38 - Valores médios de absorção experimental e da literatura

	2h (%)	24h (%)	Fonte
Híbrido	28,82	70,9	Estudo
Casca de Amendoim	21,27	61,13	
Fibra de Papiro	101	120	Tangjuank e Kumfu (2011)
Caule de Girassol	65,4	82,22	Bektas et al. (2005)
Amendoim e <i>Pinus</i>	63,29	73,9	Guler et al. (2007)
Folha de abacaxi	190	250	Tangjuank (2011)

Com base nos valores da Tabela 38 foi sintetizado o gráfico absorção 2 horas e 24 horas, representados pela Figura 54 e 55, respectivamente. Observa-se na Figura 54 que os valores médios experimentais obtidos para os painéis em estudo foram menores que os extraídos da literatura, demonstrando que os painéis em estudo exibem maior estabilidade para variável absorção.

Figura 54. Valores médios experimentais de absorção 2 horas e dados da literatura

No período das 24 horas os painéis experimentais se comportaram de forma semelhante ao constatado às 2 horas, em que os painéis experimentais tiveram valor médio experimental inferior aos relatados na literatura (Figura 55).

Figura 55. Valores médios experimentais de absorção 24 horas e dados da literatura

Duas hipóteses podem explicar a diferença de absorção entre os painéis desse estudo com os da literatura. A primeira é a diferença da quantidade e tipo de resina empregada na fabricação dos painéis, pois Tangjuank e Kumfu (2011) constataram menor absorção de água para painéis fabricados com maiores níveis de resina. Segundo os autores isso ocorre, pelo fato, da resina curar nos espaços vazios, resultando em menor quantidade de espaço vazio.

A segunda hipótese é a relação existente entre a densidade e espaços vazios nos painéis. De acordo com Tangjuank (2011) painéis de baixa densidade apresentam maior absorção de água, devido à característica porosa do material.

Estatística Inferencial

Os testes de pressuposição para ANOVA (Barlett e Anderson Darling) estão representados na Tabela 39. Observa-se que para o experimento no período das 2 horas, as variâncias apresentaram heteroscedasticidade, ou seja, o P-valor foi menor que $P < 0,05$. Conforme apresentado na análise descritiva não foi constatado nenhum *outliers* que poderia influenciar nessa análise.

Segundo Haddad e Vendramim (2000) dados em porcentagem podem ser transformados em “arco seno raiz quadrada de $P\% / 100$ ”, uma vez que essa transformação homogeneiza a variância experimental. Essa transformação foi aplicada nos dados, porém não foi diagnosticado homogeneidade nas variâncias, pois o P-valor foi 0,036846143, ou seja, menor que $P < 0,05$.

Como essa pressuposição não foi atendida utilizou a Estatística não Paramétrica, adotando o Teste de *Mann-Whitney*. Segundo Fonseca e Martins (1996) esse teste é usado para testar se duas amostras independentes foram retiradas de populações com médias iguais, e não exige nenhuma consideração sobre as distribuições populacionais e suas variâncias.

Já para o experimento às 24 horas foi retirado *outlier* diagnosticado na estatística descritiva, pois ele estava influenciando na análise dos testes de pressuposição da ANOVA. Visualiza-se na Tabela 39 que os testes de normalidade e homogeneidade de variância não foram significativos a $P < 0,05$. Dessa forma, pode-se utilizar ANOVA para efetuar análise de absorção às 24 horas.

Tabela 39 - Pressuposição ANOVA	
Teste	P-valor
2 horas	
Bartlett	0,019445995*
Anderson Darling	0,814807238 ^{NS}
24 horas	
Bartlett	0,094294909 ^{NS}
Anderson Darling	0,870709572 ^{NS}
^{NS} Não significativo a $P < 0,05$	
*Significativo a $P < 0,05$	

Para o período das 2 horas foi diagnosticado diferença significativa ($P < 0,05$) para o Teste de *Mann-Whitney*, demonstrando que a médias experimentais dos painéis são diferentes (Tabela 40). Com base nesse teste, pode-se afirmar que o painel híbrido apresentou maior ($P < 0,05$) absorção que o painel de casca de amendoim, no período das 2 horas.

Tabela 40 - Teste de Mann-Whitney – Absorção 2 horas	
Ztab	Zcal
-1,96 < Zcal < 1,96	-8,14*
*Significativo a $P < 0,05$	

No período das 24 horas foi diagnosticada significância para o fator painel ($P < 0,05$), ou seja, o tratamento em estudo teve efeito significativo (Tabela 41).

Tabela 41- ANOVA – Absorção 24 horas

Fator	GL	SQ	QM	F	P-valor
Painel	1	245,2998	245,2998	12,74789	0,0024*
Resíduos	17	327,1205	19,24238		

Com base no Teste F foi diagnosticada diferença significativa ($P < 0,05$) entre as médias dos painéis experimentais (Tabela 42).

Tabela 42 - Médias experimentais com a retirada do *outlier*

Painel	Absorção 24horas
Híbrido	68,33 A
Casca de Amendoim	61,13 B

Médias com letras maiúscula diferentes na coluna diferem pelo Teste F a $P < 0,05$

A análise inferencial demonstrou que o painel a base de casca de amendoim absorve menor quantidade de água que o painel híbrido, equivalente a 26,19% e 10,53% para o período de 2 e 24 horas, respectivamente. A diferença entre a geometria das partículas de fibra de coco verde e casca de amendoim é uma hipótese que explica a maior absorção de água do painel híbrido, pois infere-se que a adição das fibras de coco verde possam ter aumentado o número de espaços vazios no painel. De acordo com Tangjuank (2011) e Tangjuank e Kumfu (2011) painéis com maior porosidade absorvem mais água.

6.2 Ensaios mecânicos

Este item apresenta os resultados experimentais de propriedades mecânicas (módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e adesão interna (AI)) de painéis de partículas de casca de amendoim e híbrido. Para cada propriedade mecânica foi realizada uma análise estatística descritiva e inferencial.

6.2.1 Módulo de ruptura e Módulo de elasticidade

Estatística descritiva

Para o MOR e MOE, o painel híbrido apresentou valor médio experimental superior ao de casca de amendoim. Com relação à variação, o painel à base de casca de amendoim exibiu media dispersão ($15\% < CV < 30\%$), enquanto que o painel híbrido apresentou baixa dispersão ($CV\% < 15$), (FONSECA E MARTINS, 1996). Essas variações demonstram que o painel híbrido é um material de maior homogeneidade, garantindo maior segurança quanto a solicitações estruturais (Tabela 43).

O coeficiente de assimetria dos painéis experimentais foram menores que 0 (distribuições assimétrica a esquerda), com exceção ao painel de casca de amendoim para o MOR, que apresentou valor superior a 0 (distribuição assimétrica a direita). Para os coeficientes de curtose os valores foram menores que 3 (platicúrticas), com exceção ao painel de casca de amendoim que exibiu valor superior a 3 (leptocúrtica) no módulo de elasticidade (MOE) (Tabela 43).

Tabela 43 - Valores médios experimentais – Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade

Painel	Média (MPa)	CV(%)	Assimetria	Curtose
Módulo de Ruptura – MOR				
Casca de Amendoim	1,82	21,88	0,27	2,5
Híbrido	3,88	7,67	-0,53	2,24
Módulo de Elasticidade - MOE				
Casca de Amendoim	333,8	21,1	-1,13	4,16
Híbrido	445,2	5,12	-0,01	1,45

CV(%) Coeficiente de Variação

A Figura 56 sumariza os gráficos boxplot, para o módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE). Nota-se, que no MOE foi constatado um *Outlier* (170) no painel experimental à base de casca de amendoim, o qual pode implicar nos resultados de pressuposição da ANOVA. O *outlier* é um ponto do conjunto de dados que apresenta um comportamento diferente dos outros valores, o qual influencia na heteroscedasticidade.

a.

b.

Figura 56. (a) Conjuntos de dados dos painéis experimentais Módulo de Ruptura. (b) Conjuntos de dados dos painéis experimentais Módulo de Elasticidade

Os valores médios de MOR e MOE dos painéis experimentais foram comparados com os recomendados pela norma ANSI A208.1-1999 e com resultados de trabalhos sobre painéis particulados de baixa densidade à base de resíduos. Esses valores estão apresentados na Tabela 44.

Tabela 44 - Valores médios de MOR e MOE - experimentais e literatura

	MOR* (MPa)	MOE* (MPa)	Fonte
Híbrido	3,88	445,2	Estudo
Casca de Amendoim	1,82	333,8	
Casca de Amendoim	6,3	523	
Norma ANSI	3	550	Vijayaraghavan e Swaminathan (1992)
<i>Kenaf Core</i>	1,1	300	ANSI A208.1-1999
Casca de coco	1,94	365	Xu et al. (2004)
Bagaço de Cana	4,16	957	PanyaKaew e Fotios (2011)

*MOR – Módulo de Ruptura; *MOE – Módulo de Elasticidade

Com base nos valores da Tabela 44 foi sintetizado o gráfico MOR e MOE, representados pela Figura 57 e 58, respectivamente. Observa-se na Figura 57 que o valor médio experimental (MOR) do painel híbrido ficou acima do limite inferior preconizado pela ANSI A208.1-1999 (3 MPa – Linha tracejada). Porém, em comparação com outros painéis derivados de resíduos agroindustriais o painel híbrido foi somente superior ao *Kenaf Core* e Casca de Coco. O menor valor de MOR para o painel híbrido quando comparado ao bagaço de cana e casca de amendoim, pode estar atrelada na concepção dos painéis, pois os autores utilizaram pressão, temperatura e tempo diferentes ao empregado nesse estudo.

Esse comportamento pode estar relacionado com a densidade do painel e com a quantidade e tipo de resina utilizada. Os autores afirmam que a lignina pode ser usada como resina intrínseca na fabricação dos painéis. Portanto, além da resina (óleo de mamona) os teores de lignina nas partículas de amendoim e fibra de coco verde podem ter contribuído com a melhor aglomeração das partículas e consequentemente, com melhores valores de MOR. Além disso, a inserção da fibra do coco no painel de casca de amendoim garantiu um aumento da resistência. Isso ocorreu porque a fibra de coco apresenta morfologia diferenciada da casca do amendoim, e maior MOR e MOE, quando comparada somente fibra.

Figura 57. Valores médios experimentais de módulo de ruptura e dados da literatura

A Figura 58 ilustra os valores médios de MOE dos painéis avaliados nesse trabalho com dados extraídos da literatura. Visualiza-se que os painéis experimentais apresentaram valores abaixo do estipulado pela norma ANSI A208.1-1999 (550 MPa – Linha tracejada). Para o painel híbrido, observa-se que o MOE foi superior ao *Kenaf Core* e Casca de Coco. Já o painel experimental à base de casca de amendoim foi superior apenas ao *Kenaf core*.

Embora os painéis experimentais (híbrido e casca de amendoim) tenham apresentado valores de MOE abaixo do preconizado pela norma, cabe ressaltar que os valores dessa normativa são estabelecidos para painéis particulados de madeira.

Essas diferenças observadas tem relação direta com a morfologia dos materiais, pois são diferentes tipos de fibras, ou seja, cada uma com sua resistência e elasticidade. O painel híbrido apresentou maior valor de MOE, devido a presença de fibra de coco verde na mistura. Fibra que apresenta valor de MOE superior em comparação com a casca de amendoim.

Figura 58. Valores médios experimentais de módulo de elasticidade e dados da literatura

Estatística Inferencial

Os testes de pressuposição para ANOVA (Barlett e Anderson Darling) estão representados na Tabela 45. Visualiza-se que para MOR e MOE o teste de homogeneidade e normalidade foram não significativos a $P < 0,05$, podendo ser aplicado ANOVA para averiguação dessas propriedades. Para MOE foi necessária a retirada do *outlier* (170), pois esse estava influenciando nos testes de Bartlett e Anderson Darling.

Tabela 45 - Pressuposição ANOVA

Teste	P-valor
MOR	
Bartlett	0,39743641 ^{NS}
Anderson Darling	0,29543764 ^{NS}
MOE	
Bartlett	0,07746570 ^{NS}
Anderson Darling	0,51564663 ^{NS}

^{NS} Significativo a $P < 0,05$

Os dados da ANOVA para o MOR estão representados na Tabela 46. Nota-se, que o P-valor foi altamente significativo, demonstrando que o fator Paineis tem efeito para essa variável.

Tabela 46 - ANOVA – MOR

Fator	GL	SQ	QM	F	P-valor
Painel	1	21,25922	21,25922	171,7069	0,000**
Resíduos	18	2,2286	0,123811		

*Significativo a $P < 0,05$ **Significativo a $P < 0,01$

Com base no Teste F foi diagnosticada diferença significativa ($P < 0,05$) entre as médias dos painéis experimentais (Tabela 47), com 53,09% de diferença entre o painel híbrido e de amendoim.

Tabela 47 - Médias experimentais

Painel	MOR (MPa)
Híbrido	3,88 A
Casca de Amendoim	1,82 B

Médias com letras maiúscula diferentes na coluna diferem pelo Teste F a $P < 0,05$

A diferença significativa diagnosticada nesse experimento (MOR) pode ser explicada pela afirmação de PanyaKaew e Fotios (2011). Segundo esses autores o módulo de ruptura não só depende da força de ligação entre as fibras, mas também a força individual da fibra, a geometria e sua espessura.

Outro fator que pode ter influenciado no desempenho do MOR é a característica química da casca de amendoim e da fibra de coco verde. Segundo Passos (2005) a celulose é um polissacarídeo linear e é o principal constituinte, sendo responsável pela estabilidade e resistência das fibras. Além da celulose, a lignina é outro polímero que fornece resistência à fibra.

Com base na afirmação do autor foi sintetizada a Tabela 48, a qual sumariza o teor de celulose e lignina da casca de amendoim e fibra de coco verde extraídos da literatura. Observa-se que a fibra de coco verde tende apresentar maior quantidade de celulose e lignina do que a casca de amendoim. Essa diferença pode ser uma hipótese que explica a maior média experimental de MOR para o painel híbrido.

Tabela 48 - Teor de Celulose e Lignina

Resíduo	Celulose (%)	Lignina (%)	Fonte
Casca de Amendoim	42,5	28	Guler et al. (2007)
Fibra de Coco Verde	36-46	20-45	Passos (2005)

Para o MOE foi constatada diferença altamente significativa ($P < 0,001$) para o fator Painel, evidenciando que existe efeito de tratamento (Tabela 49). Importante ressaltar que para esse experimento foi retirado uma unidade experimental (*outlier*), podendo ser observado pelo número de graus de liberdade para o fator resíduo.

Tabela 49 - ANOVA – MOE

Fator	GL	SQ	QM	F	P-valor
Painel	1	41145,35	41145,35	35,83061	0,000**
Resíduos	17	19521,6	1148,329		

*Significativo a $P < 0,05$

**Significativo a $P < 0,01$

O Teste F apontou diferença significativa para variável MOE dos painéis experimentais, sendo que o painel híbrido exibiu valor médio experimental superior ao painel à base de casca de amendoim (Tabela 50), equivalendo a 26,47% de diferença.

Tabela 50 - Médias experimentais com a retirada do *outlier*

Painel	MOE (MPa)
Híbrido	445,20 A
Casca de Amendoim	352,00 B

Médias com letras maiúscula diferentes na coluna diferem pelo Teste F a $P < 0,05$

O módulo de elasticidade é uma relação entre a tensão e o alongamento relativo. É determinado pela força de atração entre átomos dos materiais, ou seja, quanto maior a atração entre os átomos, maior é o módulo de elasticidade (TIMOSHENKO, 1976). Com base nessa informação, pode-se afirmar que o painel híbrido é um material de maior rigidez quando comparado ao painel de casca de amendoim.

6.2.2 Adesão interna

Estatística descritiva

O painel híbrido apresentou valor médio experimental de AI superior ao de casca de amendoim. Os painéis experimentais demonstraram alta dispersão para essa variável

mecânica, ou seja, $CV > 30\%$ (FONSECA E MARTINS, 1996). Essa alta variação pode estar atrelada a heterogeneidade da distribuição da resina sobre as partículas (Tabela 51).

O coeficiente de assimetria do painel de amendoim foi menor que 0 (distribuição assimétrica a esquerda), enquanto que do painel híbrido foi maior que 0 (distribuição assimétrica a direita). Com relação aos coeficientes de curtose os valores foram menores que 3, sendo o achatamento da curva caracterizando como platicúrtica (Tabela 51).

Tabela 51 - Valores experimentais médio de adesão interna

	Média (MPa)	CV(%)	Assimetria	Curtose
Casca de Amendoim	0,159	37,79	-0,23	1,74
Híbrido	0,2563	49,32	0,57	1,87

CV(%) Coeficiente de Variação

A Figura 59 ilustra os gráficos boxplot, os quais representam as distribuições empíricas dos dados, para a adesão interna (AI). Visualiza-se, que os painéis experimentais não exibiram nenhum *outliers*.

Figura 59. Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais – Adesão Interna

Os valores médios de AI dos painéis experimentais foram comparados com a ANSI A208.1-1999 e alguns trabalhos sobre painéis particulados de baixa densidade à base de resíduo. Esses valores estão representados na Tabela 52.

Tabela 52 - Valores médios de adesão interna extraídos da literatura

	AI (MPa)*	Fonte
Híbrido	0,256	Estudo
Casca de Amendoim	0,159	
Norma ANSI	0,100	ANSI A208.1-1999
Kenaf Core	0,100	Xu et al. (2004)
Casca de coco	0,002	PanyaKaew e Fotios (2011)
Bagaço de Cana	0,014	

*AI – Adesão Interna

Com base nos valores da Tabela 52 foi sintetizado o gráfico representado pela Figura 60. Observa-se na Figura 60 que o valor médio dos painéis experimentais ficaram acima do preconizado pela norma ANSI A208.1-1999 (0,1 MPa – Linha tracejada). Comparando os valores experimentais desse estudo com os da literatura, visualiza-se que os valores dos painéis experimentais foram superiores.

A conjectura que pode explicar esse fenômeno é a utilização da resina de mamona, pois nos outros trabalhos comparados os autores não utilizaram nenhuma resina, pois segundo esses pesquisadores a lignina do resíduo pode ser usada como resina intrínseca.

Apesar dos painéis experimentais desse estudo serem oriundo de resíduos diferentes aos painéis comparados da literatura, é possível inferir que a resina de mamona proporciona maior adesão interna para o painel. No entanto, seriam necessário estudos com diferentes tipos de resina para averiguar qual oferece melhor desempenho para os painéis experimentais.

Figura 60. Valores médios experimentais (AI) e dados da literatura

Estatística Inferencial

A Tabela 53 sintetiza os testes de pressuposição (Bartlett e Anderson Darling) para ANOVA. Visualiza-se que os resíduos experimentais exibiram P-valores não significativo a $P < 0,05$, ou seja, as variâncias são homogêneas e o resíduo segue distribuição normal. Dessa forma, pode-se utilizar ANOVA para efetuar análise inferencial dos dados.

Tabela 53 - Pressuposição ANOVA

Teste	P-valor
Bartlett	0,078978675 ^{NS}
Anderson Darling	0,227967852 ^{NS}

^{NS} Não significativo a $P < 0,05$

Na Tabela 54 estão sumarizados os valores obtidos para ANOVA para a variável adesão interna (AI). Observa-se que foi constatada significância ($P < 0,05$) para o fator Painele, demonstrando que existe efeito de tratamento para essa variável.

Tabela 54 - ANOVA – Adesão Interna

Fator	GL	SQ	QM	F	P-valor
Painel	1	0,047296	0,047296	15,33746	0,0035*
Bloco	9	0,148628	0,016514	5,355307	0,01
Resíduos	9	0,027753	0,003084		

* Significativo a $P < 0,05$

O Teste F apontou diferença significativa para a AI dos painéis experimentais, sendo que o painel amendoim exibiu valor médio experimental inferior ao painel híbrido (Tabela 55), equivalendo a 37,89% de diferença.

Tabela 55 - Médias experimentais

Painel	TP (MPa)
Híbrido	0,256 A
Casca de Amendoim	0,159 B

Médias com letras maiúscula diferentes na coluna diferem pelo Teste F a $P < 0,05$

6.3 Análise microestrutural

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

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

Sendo assim, foram realizadas imagens por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) dos painéis experimentais, a qual está apresentada na Figura 61. Observa-se que no painel híbrido, as fibras de coco verde ficaram sobrepostas às partículas da casca de amendoim, resultando em maior número de espaço vazios em relação ao painel à base de casca de amendoim. A conjectura para explicitar esse fenômeno, pode ser em razão da diferença de geometria entre a fibra de coco verde e a casca de amendoim.

Figura 61. Imagem dos painéis experimentais. (a) painel híbrido (100x) e (b) painel casca de amendoim (200x)

A existência de espaços vazios observadas nas imagens de MEV auxilia na interpretação dos resultados da variável absorção comentados anteriormente, em que o painel híbrido apresentou maior absorção de água nos períodos estudados (2 horas e 24 horas).

De acordo com Tinôco (2001) um ambiente é tido como confortável para frangos de corte quando a umidade relativa situa-se entre 50 e 70%. Para aplicação dos painéis experimentais como forro em um galpão avícola, seria necessário a utilização de impermeabilizante na superfície do material, visando diminuir a absorção e aumentar a vida útil do produto.

6.4 Seleção do material

As análises experimentais demonstraram que o painel experimental híbrido apresentou desempenho superior ao painel de casca de amendoim para as propriedades físico-mecânicas, com exceção para variável absorção.

Apesar de o painel híbrido absorver maiores quantidades de água, esse material exibiu valores de MOR, MOE e AI superiores ao painel de casca de amendoim, o que é relevante para aplicação como forro em uma edificação avícola, uma vez, que o material em um aviário está sujeito a solicitações de forças.

Portanto, com base nos resultados obtidos, o painel híbrido foi selecionado como material para realização de análise da durabilidade, propriedade térmica (condutividade térmica) e fator de ganho solar.

6.5 Durabilidade

Esse item apresenta resultados experimentais (MOR e MOE) referentes à durabilidade (envelhecimento acelerado e natural) do painel híbrido.

Estatística descritiva

Os dados descritivos dos ensaios de durabilidade estão esboçados na Tabela 56 e 57. Nota-se, que o painel sem envelhecimento apresentou média superior para MOR e MOE, enquanto que o painel do envelhecimento natural apresentou menor média (MOR). Com relação à dispersão dos dados (CV%) observa-se que os valores foram de média dispersão, com exceção ao envelhecimento natural – MOR (FONSECA E MARTINS, 1996).

Para experimento a propriedade MOR, os coeficientes de assimetria foram maiores que 0 para o envelhecimento natural e sem envelhecimento (distribuição assimétrica a direita), enquanto que para o envelhecimento acelerado o coeficiente foi menor que 0 (distribuição assimétrica a esquerda). Já os coeficientes de curtose foram todos menores que 3, sendo o achatamento da curva caracterizado como platicúrtica (Tabela 56 e 57).

Na avaliação da propriedade MOE, os coeficientes de assimetria foram menores que 0 para o envelhecimento acelerado e natural (distribuição assimétrica a esquerda), enquanto que para o sem envelhecimento o coeficiente foi maior que 0 (distribuição assimétrica a direita). Já os coeficientes de curtose foram todos menores que 3, sendo o achatamento da curva caracterizado como platicúrtica (Tabela 56 e 57).

Tabela 56 - Valores experimentais de MOR – Painel Híbrido

	Envelhecimento Acelerado	Envelhecimento Natural	Sem Envelhecimento
Média	1,97	1,2	4,94
CV (%)	16,07	14,99	22,74
Assimetria	-0,17	0,32	0,51
Curtose	1,95	2,04	1,74
CV (%) Coeficiente de Variação			

Tabela 57 - Valores experimentais de MOE – Paineis Híbrido

	Envelhecimento Acelerado	Envelhecimento Natural	Sem Envelhecimento
Média	146,70	45,90	555,60
CV (%)	24,69	23,91	20,01
Assimetria	-0,56	-0,34	0,42
Curtose	1,75	2,91	2,71

CV (%) Coeficiente de Variação

A Figura 62 ilustra os gráficos boxplot para a variável MOR e MOE, respectivamente. Visualiza-se que os painéis experimentais não exibiram nenhum *outliers* para variável MOR e MOE.

a.

Figura 62. (a) Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais MOR. (b) Comparação dos conjuntos de dados dos painéis experimentais MOE

6.5.1 Análise visual

Com o propósito de identificar mudanças estruturais nos diferentes ensaios de durabilidade (natural e acelerado) foi realizada uma análise visual qualitativa, pois segundo Wei-hong et al. (2005), a durabilidade do compósito está relacionado com a progressão da degradação que é normalmente avaliada pela perda de peso ou de avaliação visual.

Envelhecimento Natural

Os corpos de provas (painel híbrido) ficaram expostos durante o período de seis meses no campo de envelhecimento natural. Para caracterizar o ambiente físico foi sintetizada a Tabela 58, a qual representa os valores médios das variáveis climáticas: velocidade do vento, chuva, radiação solar, umidade relativa e temperatura.

Tabela 58 - Valores médios das variáveis climáticas

Mês	V. Vento (Km/h)	Chuva (mm)	Radiação Solar (W/m ²)	UR (%)	Temperatura (°C)
Dezembro	1,8	0,07	583,51	77,15	23,89
Janeiro	1,42	0,07	460,12	83,39	22,02
Fevereiro	1,27	0,02	556,3	75,92	24,65
Março	1,19	0,02	478,87	76,73	23,56
Abril	1,07	0,04	397,21	79,3	22,45
Maio	0,86	0,02	354,31	80,17	18,28
Junho	0,52	0,04	248,30	85,63	18,5

Os principais fatores que contribuem para a degradação natural da madeira são: umidade, luz, forças mecânicas e calor, as quais podem atuar isoladamente ou de forma combinada (GONÇALEZ et al., 2010). De acordo com Hon (2001) o intemperismo é uma combinação da ação do sol, chuva e umidade. Dentre esses fatores climáticos, a radiação ultravioleta (UV) presente na luz do sol é o mais prejudicial, pois da início a modificações químicas dos principais polímeros que constituem a madeira (celulose, lignina e hemicelulose) (GONÇALEZ et al. 2010).

De acordo com Hong (2001) citado por Silva e Pastore (2004), a radiação ultravioleta (UV) consegue penetrar até uma profundidade de 75 µm e a visível atinge cerca de 200 µm. Apesar da radiação visível penetrar mais profundamente, sua energia, menor do que 70 kcal/mol, é insuficiente para romper as ligações químicas em qualquer um dos constituintes da madeira.

A Figura 63 ilustra os valores médios experimentais da radiação solar (a) e radiação ultravioleta (b) durante o período em que os corpos de prova ficaram expostos no campo de envelhecimento natural. Observa-se que os quatro primeiros meses (dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril) corresponderam ao período, em que os corpos de prova receberam as maiores quantidades de radiação solar e ultravioleta.

a.

b.

Figura 63. (a) Valores médios experimentais da radiação solar. (b) Valores médios experimentais da radiação ultravioleta

Com auxílio de uma câmera termográfica, modelo Ti20TM foi medido em um dia típico de verão (sol sem a presença de nuvens) durante no período das 13h00min a temperatura dos corpos de provas, com o intuito de averiguar a temperatura do material quando submetido a alta radiação solar.

A Figura 64 ilustra a temperatura dos corpos de prova em dia típico de verão. Observa-se que os corpos de prova exibiram duas regiões com temperaturas diferentes, sendo uma vermelha e outra amarela com temperatura de 61,9°C e 55°C, respectivamente.

As altas temperaturas diagnosticadas nos corpos de prova podem ser devido à alta absorção de radiação solar, pois segundo Varjão Silva (2006) quando certa quantidade de radiação solar incide sobre um corpo, pode parcialmente ser refletida, parcialmente absorvida e parcialmente transmitida através dele.

De acordo com a Lei de Stefan-Boltzman a radiação emitida pelo corpo negro em todos os comprimentos de onda (emitância total) é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta.

Com base nessa lei infere-se que o material apresentaria alta emitância de radiação nos aviários, pois conforme constatado a temperatura dos corpos de prova foram em média de 58,45°C. Esse comportamento demonstra a importância de utilizar coberturas que apresentem baixo coeficiente de absorção da radiação solar, para que dessa forma pouca energia possa ser repassada para o forro.

Figura 64. Temperatura dos corpos de prova em dia típico de verão

Além das altas temperaturas foi constatada presença de fungos nos corpos de prova, conforme ilustra a Figura 65. O aparecimento dos fungos pode estar atrelado à alta umidade

na área experimental, a Tabela 58 apresenta os valores médios das variáveis climáticas, sendo a umidade relativa média igual a 79,75%.

A alta absorção de água do material pode ser outro fator que tenha contribuído para o aparecimento dos fungos, pois os resultados de absorção do painel híbrido apresentadas no item propriedades físicas demonstram que no período de 24 horas o material exibiu valor médio de 68,33%. De acordo com Highley (1999) o teor de umidade de 30% ou mais é necessário para o crescimento de fungos.

Figura 65. Presença de Fungos

Segundo Feist e Hon (1984) citado por Silva e Pastore (2004) o stain é uma mistura de resinas, fungicidas e pigmentos dissolvidos em óleo, que penetra nas fibras e acompanha a movimentação da madeira.

A Figura 66 ilustra a comparação de corpos de provas (Híbrido) expostos no início (21 de dezembro) e no final (21 de junho) do envelhecimento natural. Visualiza-se que no início (Figura 66 a.) o corpo de prova apresentou coloração escura quando comparado com o corpo de prova no final do período experimental (Figura 66 b.).

Embora não se tenha efetuado ensaio de espectro de refletância, a cor escura constatada no início poder ser explicado com base no trabalho de Silva e Pastore (2004), que avaliaram a fotodecomposição e proteção de madeiras tropicais. Nesse estudo, os autores estudaram o efeito do verniz poliuretânicos e stain como proteção das madeiras. Os autores constataram que após a aplicação do verniz ou do stain, ela provocou alteração nas curvas espectrais originais das madeiras, ou seja, após o tratamento da superfície as madeiras tornaram-se mais escuras, pelo fato, das curvas espectrais refletirem uma quantidade de luz menor.

A descoloração constatada no corpo de prova ao término do envelhecimento natural, pode ser explicado pela afirmação de Temiz et al. (2005) em que a descoloração da madeira exposta a radiação solar ocorre devido a mudanças dos grupos cromóforos capazes de absorver a radiação ultravioleta no comprimento de onda de 300 e 400 μm .

Segundo Gonzalez et al. (2010) quando a madeira é exposta à radiação solar está sujeita à degradação de sua superfície. Primeiramente, ocorre uma mudança de cor e depois uma perda de suas propriedades mecânicas.

Silva e Pastore (2004) compararam a modificação de cor da madeira jatobá protegidas com verniz poliuretânico e stain. Os autores constataram que abaixo de 500 horas de irradiação ultravioleta e 100 horas de lixiviação o stain proporcionou menor alteração na cor da madeira, garantindo maior proteção contra a radiação ultravioleta e lixiviação. No entanto, após 500 horas de exposição à radiação ultravioleta o verniz foi mais eficiente na proteção da madeira, pois os autores diagnosticaram menor variação de cor quando comparado com o stain.

Apesar de não se ter mensurado variação da cor durante o período de envelhecimento natural, infere-se com base no trabalho de Silva e Pastore (2004) que o stain apresentou baixa eficiência na proteção do painel híbrido. No entanto, seriam necessários estudos que possam comprovar o tempo de eficiência do stain quando aplicado a esse material.

Figura 66. (a) Corpo de prova - híbrido exposto ao campo de envelhecimento natural no dia 21 de dezembro de 2011. (b) Corpo de prova - híbrido exposto ao campo de envelhecimento natural no dia 21 de junho de 2012

Envelhecimento Acelerado

Após a realização do ensaio de envelhecimento acelerado foram identificados apenas alguns pontos pretos nos corpos de prova (Figura 67). Essa coloração preta pode ser devido à água quente em que os corpos de prova estiveram expostos durante o período de oito horas.

Conforme apresentado no item propriedades físicas, a absorção do painel híbrido foi de 28,82 e 68,33% para o período das 2 horas e 24 horas, respectivamente. Portanto, essa característica sugere que a absorção de água quente pode ter degradado a fibra, porém é necessário a realização de um estudo mais aprofundado para confirmar essa variação de coloração superficial.

Figura 67. (a) corpos de prova após o envelhecimento acelerado. (b) Coloração preta no corpo de prova

Envelhecimento Natural x Acelerado x Não Envelhecido

A Figura 68 compara o estágio final dos corpos prova ao término dos envelhecimentos (natural e acelerado) com o não envelhecido. Observa-se que o envelhecimento natural foi mais severo do que o acelerado, pois diagnosticou maior delaminação e despigmentação da cor. A hipótese que pode explicar esse comportamento pode estar atrelada a exposição da radiação solar, principalmente a ultravioleta, a qual resulta na maior degradação do material.

Embora não se tenha utilizado radiação ultravioleta no ensaio de envelhecimento acelerado a água é um fator degradante, pois de acordo com Pastore e Silva (2004) a luminosidade da madeira é intensificada com a lixiviação (madeiras completamente imersa sobre a água).

Figura 68. (a) corpo de prova após o envelhecimento natural; (b) corpo de prova após o envelhecimento acelerado; (c) corpo de prova não envelhecido

Estatística inferencial

A Tabela 59 exhibe os testes de pressuposição (Bartlett e Anderson Darling) para ANOVA. Observa-se que o P-valor da variável MOR e MOE foram significativos a $P < 0,05$, com exceção do teste de normalidade para o MOR, ou seja, não atenderam as pressuposições da ANOVA. Como não foi constatado nenhum *outlier* no conjunto de dados das variáveis MOR e MOE (análise descritiva), foi necessário realizar um Teste Não-Paramétrico.

Tabela 59 - Pressuposição ANOVA

Teste	P-valor
MOR	
Bartlett	1,15818E-06*
Anderson Darling	0,065184962 ^{NS}
MOE	
Bartlett	5,28845E-08*
Anderson Darling	8,62633E-05*

*Não significativo a $P < 0,05$

^{NS} Não significativo a $P < 0,05$

Para efetuar a análise dos dados foi adotado o Teste de Kruskal-Wallis. Segundo Fonseca e Martins (1996) esse teste é útil para decidir se K amostras ($K > 2$) independentes provêm de populações com médias iguais.

A Tabela 60 sumariza o teste de Kruskal-Wallis para variável MOR. Visualiza-se que o P-valor foi significativo a $P < 0,05$, demonstrando que as médias dos tratamentos são diferentes.

Tabela 60 - Teste de Kruskal-Wallis - MOR

Informação	Valor
Kruskal-Wallis	25,55096774
Graus de Liberdade	2
P-valor	2,82929E-06*

*significativo a $P < 0,05$

Com o propósito de diagnosticar as diferenças entre os tratamentos para a variável MOR, foi utilizado o teste de comparação múltipla Dunn a 5% de probabilidade, representado na Tabela 61. Nota-se que os fatores comparados exibiram significância ($P < 0,05$), demonstrando a existência de diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 61 - Teste de Dunn - MOR

Fonte de Variação	MOR - MPa
Sem Envelhecimento	4,94 A
Envelhecimento Natural	1,20 B
Envelhecimento Acelerado	1,97 C

Médias com letras maiúscula diferentes na coluna diferem pelo Teste Dunn a $P < 0,05$

Os corpos de prova submetidos ao Envelhecimento Natural e Acelerado apresentaram redução média de 75,63 e 59,96% do MOR, respectivamente em relação ao Sem Envelhecimento.

As diferenças constatadas para o MOR (Envelhecimento Natural e Sem Envelhecimento), podem ser explicadas por duas hipóteses. A primeira consiste nas altas temperaturas demonstradas na análise visual, pois segundo Varjão Silva (2006) a absorção de energia radiante pode ser suficiente para romper moléculas, liberando átomos, processo chamado de fotodissociação (quebra de uma ligação química induzida pela radiação). Com base na afirmação do autor infere-se que a radiação solar e a ultravioleta possa ter comprometido as ligações químicas entre as partículas (casca de amendoim e fibra de coco verde) e a resina, pois segundo PanyaKaew e Fotios (2011) o MOR não depende somente da força individual e geometria das fibras, mas também na força de ligação entre as fibras.

A segunda hipótese se baseia no trabalho de Wei-hong et al. (2005) que estudaram a influência de fungos sobre madeira compensada. Os autores diagnosticaram redução do MOR quando foram inoculado fungos nesses painéis, pois esses micro-organismos utilizam a celulose, hemicelulose e a lignina estrutural para a nutrição.

De acordo com a análise visual foi diagnosticado a presença de fungos sobre os corpos de prova submetidos ao Envelhecimento Natural, que provavelmente influenciou na perda de resistência (MOR) do material, pois segundo Passos (2005) a celulose e a lignina são polímeros responsáveis pela estabilidade e resistência das fibras.

Considerando os resultados de Wei-hong et al. (2005) e a afirmação de Passos (2005), infere-se que os fungos identificados nos corpos de prova podem ter consumido parte da celulose e da lignina, resultando na queda de resistência das fibras, pois conforme salientado por PanyaKaew e Fotios (2011) a força individual da fibra é relevante para o MOR.

Com relação à comparação entre resultados do Envelhecimento Acelerado e Sem Envelhecimento a diferença pode estar atrelada ao efeito da temperatura e umidade. Acredita-se que durante o período de 8 horas em que os corpos de prova ficaram expostos ao banho maria (66°C), ocorreu alta absorção de água, a qual pode ter influenciado na queda do MOR, pois segundo Barros et al. (2006) a absorção de água reduz as propriedades mecânicas do painel.

Ao comparar o Envelhecimento Acelerado com Natural foi constatado significância pelo Teste de Dunn ($P < 0,05$), em que os corpos de prova do envelhecimento natural exibiram redução média de 39,08% do MOR, quando comparado com os corpos do Envelhecimento Acelerado.

Kojima e Suzuki (2010) diagnosticaram em seu trabalho redução exponencial (tração) nos painéis de madeira submetidos a seis ciclos de envelhecimento acelerado (APA D-1). Essa pode ser uma conjectura que explica a diferença constatada nos ensaios de envelhecimentos, pois no estudo foi adotado apenas um ciclo de envelhecimento acelerado. Além disso, no Envelhecimento Natural, os corpos de prova ficaram expostos a radiação solar e ultravioleta, considerado fator de maior influência na degradação das madeiras.

A Tabela 62 sumariza o teste de Kruskal-Wallis para variável MOE. Visualiza-se que o P-valor foi significativo a $P < 0,05$, demonstrando que as médias dos tratamentos são diferentes.

Tabela 62 - Teste de Kruskal-Wallis - MOE

Informação	Valor
Kruskal-Wallis	25,81219404
Graus de Liberdade	2
P-valor	2,48287E-06*

*Significativo a $P < 0,05$

Da mesma forma que no MOR foi utilizado o teste de Dunn a 5% de probabilidade para diagnosticar a existência de diferença significativa (Tabela 63), nota-se que todas as comparações dos fatores comparados exibiram significância ($P < 0,05$), demonstrando a existência de diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 63 - Teste de Dunn - MOE

Fonte de Variação	MOE - MPa
Sem Envelhecimento	555,60 A
Envelhecimento Natural	45,90 B
Envelhecimento Acelerado	146,70 C

Médias com letras maiúscula diferentes na coluna diferem pelo Teste Dunn a $P < 0,05$

Os corpos de prova submetidos ao Envelhecimento Natural e Acelerado apresentaram redução média de 91,79 e 73,59% do MOE, respectivamente em relação ao Sem Envelhecimento.

A perda de elasticidade (MOE) observada entre o Envelhecimento Natural e Sem Envelhecimento foi alta, demonstrando que o material tem maior redução para essa variável quando comparado ao MOR. As razões que possam explicar esse fenômeno são as mesmas que foram levantadas para o MOR, a radiação solar e a presença de fungos.

Wei-hong et al. (2005) encontraram reduções para o MOE em madeira compensada com a presença de fungos, porém os autores constataram maiores reduções para a variável MOR do que o MOE, não corroborando com os do estudo, pois foi observado maior efeito para a variável MOE.

Com relação à comparação entre o Envelhecimento Acelerado e Natural (MOE) foi constatado maior redução para o Envelhecimento Natural. Kojima e Suzuki (2011) comparando o envelhecimento natural (365 dias) com o acelerado (APA D-1 – 1 ciclo) constataram menor tração para os painéis de envelhecimento acelerado.

Apesar da variável em estudo (MOE) ser diferente da pesquisada por Kojima e Suzuki (2011), percebe-se que o comportamento dos ensaios de envelhecimento (natural e acelerado)

foram opostos, ou seja, para esse estudo o ensaio natural foi mais severo, enquanto que o da pesquisa de Kojima e Suzuki (2011) o acelerado (1 ciclo) apresentou ser o mais severo.

A hipótese que pode explicar esse comportamento dispare está atrelada nas diferenças climáticas em que os experimentos foram efetuados. Por exemplo, no experimento de Kojima e Suzuki (2011) a temperatura média foi de 16,9°C, enquanto que para essa pesquisa foi de 21,90°C.

Os resultados demonstraram que o envelhecimento reduz significativamente as propriedades mecânicas do painel híbrido, sendo que o envelhecimento natural é o mais rigoroso. No entanto, é importante ressaltar que o ensaio de durabilidade (natural e acelerado) aplicado no compósito foi extremamente rigoroso, pois o material quando aplicado como forro não ficará em contato direto com a radiação solar ou submerso em água.

6.6 Condutividade térmica

O ensaio de condutividade térmica efetuado com a técnica de fio quente paralela revelou três propriedades térmicas do material (híbrido), as quais foram: Condutividade Térmica, Calor Específico e a Difusividade Térmica (Tabela 64). No final do experimento, foi constatado um alto coeficiente de correlação entre os dados, demonstrando a confiabilidade do ensaio.

Tabela 64 - Resultados experimentais – Fio Quente Paralelo

Condutividade térmica w/mK	Calor específico J/kg.K	Difusividade Térmica m ² /s	Coeficiente de Correlação
0.2971	24.416.483	2,01E-08	0,99

A condutividade térmica obtida para o painel experimental (híbrido) não o classifica como material isolante, pois segundo Whang (1988) apenas materiais com condutividade térmicas menores que 0,25/mK são classificados como isolantes térmicos.

Com objetivo de comparar a condutividade térmica do painel híbrido, com os demais materiais isolantes comerciais, foi elaborada a Tabela 65. Além da condutividade térmica, essa Tabela apresenta a densidade dos painéis do grupo inorgânico, uma vez que essa variável tem relação direta com a condutividade.

Tabela 65 - Valores de condutividade térmica de diferentes materiais e painéis de partículas

Material	Condutividade	Densidade	Fonte
	W/mk	Kg/m ³	
Lã de Vidro	0,041		
Espuma de Polietileno	0,039		Papadopoulos (2004)
Poliuretano	0,027		
Lã de Rocha	0,037		
Painel Híbrido	0,2971	500	Experimento
Painel de Kenaf	0,0525	100 - 250	Xu et al. (2004)
Painel de Caule de Algodão	0,085	150 - 450	Zhou et al. (2010)
Painel de Casca de Coco	0,057	250 - 350	Panyakaew e Fotios (2011)
Painel de Bagaço de Cana	0,052	250 - 350	
Painel de Folha de Abacaxi	0,043	178 - 232	Tangjuank (2011)
Painel de Fibra de Papiro	0,0305	232 - 266	Tangjuank e Kumfu (2011)

Com base nos valores de condutividade térmica apresentados na Tabela 65 foi elaborado o gráfico representado na Figura 69 que ilustra valores de condutividade térmica de materiais orgânicos e inorgânicos. Visualiza-se que a condutividade térmica do painel híbrido esta acima do valor estabelecido por Wang (1988).

Figura 69. Valores médios de condutividade térmica

Algumas hipóteses foram levantadas para explicar a diferença de condutividade térmica diagnosticada para o painel híbrido em relação a condutividade térmica dos outros painéis materiais orgânicos. Uma das razões tem relação com a densidade dos painéis (Tabela 65).

Esse comportamento foi comprovado no trabalho de Tangjuank e Kumfu (2011) e Zhou et al. (2010), os quais constataram aumento da condutividade térmica de um material, conforme o aumento da densidade dos painéis. Os autores afirmam que os espaços vazios diminuem com aumento da densidade da placa. Nota-se na Tabela 65 que a densidade do painel híbrido é superior aos demais, sendo um dos fatores que pode explicar esse fenômeno.

Outro fator que pode ter envolvido nessa diferença é a mistura de diferentes matérias-primas (casca de amendoim e fibra do coco verde) para fabricação do painel. Cada material possui uma condutividade térmica específica. Além disso, o tipo e o nível de resina (alguns trabalhos não empregaram resina) empregado na fabricação dos painéis é outro fator que influencia na condutividade térmica do material, pois segundo o trabalho de Tangjuank e Kumfu (2011) quanto maior o nível de resina maior a condutividade térmica do material. A absorção de água é um fator que provoca aumento da condutividade térmica dos materiais.

Segundo Tinôco (2001) o ambiente para frangos de corte é tido como confortável quando apresenta umidade relativa do ar entre 50 a 70%. Essa informação demonstra a necessidade de estudar e propor alternativas para minimizar a absorção de água pelo painel híbrido, evitando aumento na condutividade térmica e consequentemente aumento das temperaturas internas das instalações.

6.7 Fator de ganho de calor solar

Com base no valor da condutividade térmica, foi determinada a resistência e transmitância térmica do painel híbrido, cujos valores foram: $R=0,0673174 \text{ m}^2\text{K/W}$ e $U=14,8549999 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Comparando os valores de resistência térmica entre o painel híbrido com os principais materiais isolantes (lã de vidro, espuma de polietileno e poliuretano), constatou-se menor valor experimental para esse painel (Figura 70). Essa diferença tem relação direta com a condutividade térmica dos materiais.

Com relação à transmitância térmica, o painel híbrido exibiu valor experimental superior aos materiais isolantes inorgânicos (Figura 71). Esse resultado tem relação direta com a menor resistência térmica do painel.

Apesar do painel híbrido ter exibido valores diferenciados dos materiais isolantes inorgânicos, ele é composto por matérias-primas oriundas de fontes renováveis e de descarte, sendo classificado como um material sustentável.

Figura 70. Valores médios de resistência térmica: experimentais e dados da literatura

Figura 71. Valores médios de transmitância térmica: experimentais e dados da literatura

Com base nos valores apresentados, foi calculado o Fator Solar (FSO) para dois aviários, sendo um com cobertura de telha de fibrocimento pintada de branco e o outro com a mesma cobertura de telha de fibrocimento pintada de branco e painel híbrido como forro. O FSO calculado para o aviário sem forro foi de 5,49% enquanto que para o aviário com forro foi de 2,40%.

Com os dados de radiação solar coletados pela estação climatológica para o mês de referência (janeiro de 2012) e os valores de FSO calculados, foi realizado uma análise estatística com o intuito de diagnosticar se os aviários em estudo (com e sem forro de painel de partícula híbrido) apresentam diferença significativa para quantidade de radiação solar transmitida para o interior da instalação (Tabela 66). Pela análise da ANOVA, foi constatada interação entre Ambiente Térmico *versus* Horas.

Tabela 66 - ANOVA – Quantidade de radiação solar nos aviários simulados

Fator	GL	SQ	QM	F	P-valor
Bloco	31	35774,2874	1154,0092	25,794	0,0000*
Ambiente Térmico	1	22853,6401	22853,64	510,811	0,0000*
Horas	5	39932,6006	7986,5201	178,51	0,0000*
Ambiente Térmico*Horas	5	6124,3472	1224,8694	27,378	0,0000*
Resíduo	321	14361,5027	44,7398		

*Significativo a $P < 0,05$

Após o estudo da análise de variância, foram geradas equações de regressão para o desdobramento de Horas dentro de Tratamento, com o propósito de estimar o comportamento da radiação solar no interior da instalação (Tabela 67).

Tabela 67 - Equações de Regressão dos ambientes e os respectivos coeficientes de determinação

Ambientes	Equações Ajustadas	R ²
Com Forro	$Y = -87,789533* + 16,092934*H - 0,603357*H^2$	95,20%
Sem Forro	$Y = -200,813362* + 36,811822*H - 1,380155*H^2$	95%

*Significativo a $P < 0,05$

Com base nas equações de regressão, foi elaborado o gráfico representado na Figura 72. Observa-se que o ambiente com forro exibiu significativamente menores valores de radiação para todos os horários avaliados. Esse comportamento tem relação com a presença de camada de ar e painel híbrido como forro na instalação. Além da camada de ar atuar como isolante entre a cobertura e o painel híbrido, o próprio painel também atua como barreira de transferência de radiação para o interior da instalação, pois de acordo com Tangjuank e Kumfu (2011) os espaços preenchidos com ar atuam como centros de dispersão fônons.

Para Tinôco (2001) a colocação de forro isolante sob os telhados proporciona a criação de uma camada de ar (baixa condutividade térmica) entre o mesmo e a cobertura, resultando em alta resistência térmica para o sistema (cobertura, ar e forro) e consequentemente reduz a transmissão de radiação solar. Segundo a autora os materiais isolantes são porosos cuja elevada resistência térmica se baseia na condutividade térmica do ar contido em seus vazios. Assim, quanto menor a densidade do material maior o número de poros, menor a condutividade térmica e, consequentemente, maior o poder de isolamento.

Segundo Baêta e Souza (2010) sempre que um corpo recebe energia radiante, há acréscimo na sua carga interna, por essa razão, sua temperatura aumenta; da mesma forma, no processo inverso, há redução da temperatura do corpo. De acordo com os autores, a radiação solar incidente é um fator que afeta a temperatura interna das instalações, influenciando o conforto térmico. Com base nessa informação infere-se que a instalação sem forro deve apresentar maior temperatura interna. No entanto, é necessário a realização de estudos em instalações avícolas com objetivo de averiguar essas temperaturas e consequentemente identificar as zonas de conforto térmico para frangos de corte.

Derivando as equações dos ambientes (Tabela 67), constata-se que no horário das 13h33min (Figura 72) ocorre a transferência de maior quantidade de radiação para o interior das instalações, sendo necessário cautela e atenção na criação de aves durante esse horário.

Figura 72. Variação da radiação solar no interior dos ambientes para diferentes horários

A Tabela 68 sumariza a análise do Teste F para os tratamentos estudados. Visualiza-se, que para todos os horários estudados a instalação com painel híbrido apresentou transmissão de radiação solar média menor e diferente ($P < 0,05$) da radiação aferida na instalação sem forro, demonstrando a eficiência do painel híbrido quando empregado como forro de instalações avícolas. Vale ressaltar que o uso desse material como forro não exclui a adoção de sistemas complementares de controle climático nas instalações avícolas. Diretrizes construtivas adequadas, sombreamento lateral, nebulização e aspersão são exemplos de dispositivos que podem atuar em conjunto com o painel híbrido para garantir temperaturas na zona de conforto térmico para aves.

Tabela 68- Valores médios experimentais da radiação solar transmitida

Ambientes térmicos/Horas	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	Média
Com Forro	3,02 A	11,47 A	17,98 A	21,72 A	13,54 A	6,71 A	12,4
Sem Forro	6,91 B	26,26 B	41,12 B	49,70 B	30,97 B	15,36 B	28,38
Média	4,96	18,86	29,55	35,71	22,25	11,03	

Médias seguidas por letras maiúscula na coluna, não diferem significativamente a 5% pelo Teste F

6.8 Representação gráfica de uma instalação avícola com painel híbrido aplicado como forro

Esse item apresenta um projeto de instalação avícola com forro de painel híbrido. Foi adotada cobertura com telha de fibrocimento, por ser o material mais utilizado em coberturas de aviários (Cravo et al., 2012). Para cortina lateral foi adotada a de cor amarela, pois segundo Abreu et al. (2006) aviários que apresentam cortina amarela exibem melhores índices zootécnicos quando comparado com a azul (Figura 73).

Figura 73. Instalação avícola

A Figura 74 ilustra a instalação avícola com o painel híbrido aplicado como forro sob a cobertura de telha de fibrocimento. Foi proposta a execução de uma estrutura de madeira complementar posicionada abaixo do nível das tesouras, para encaixe dos painéis de partículas, evitando o uso de conectores metálicos.

Para aplicação do painel híbrido (1 m x 1m x 0,02 m) como forro em galpão avícola com 100 m de comprimento e 10 m de largura, seriam necessário 1000 m² de painel híbrido, equivalente a 1000 placas, ou seja, 10000 kg (5000 de casca de amendoim e 5000 de fibra de casca de coco verde) de resíduos e 1500 kg de resina poliuretana à base de óleo de mamona.

Para aplicação do painel híbrido (100 cm x 100 cm x 2 cm), nessa instalação avícola, seriam necessários 1680 placas, ou seja, 16800 kg (8400 de casca de amendoim e 8400 kg de fibra de casca de coco verde) de resíduos e 2520 Kg de resina poliuretana à base de óleo de mamona.

Figura 74. Detalhamento da estrutura de cobertura com forro de painel de partícula híbrido

7. CONCLUSÕES

7.1 Propriedades físico-mecânicas

Para as propriedades mecânicas, esse estudo demonstrou que a incorporação da fibra de casca de coco verde sobre a casca de amendoim melhora significativamente o desempenho mecânico dos painéis (Módulo de Ruptura, Módulo de Elasticidade e Adesão Interna), estando esses de acordo com o preconizado pela ANSI A208.1-1999.

Com relação às propriedades físicas, os resultados dessa pesquisa demonstram que a adição da fibra de casca de coco verde não foi significativamente eficiente em reduzir o inchamento e a absorção de água, devido à geometria da fibra de coco interferir nessas variáveis. No entanto, comparando os valores de absorção do painel híbrido com a literatura (painéis à base de outros resíduos) o comportamento foi superior.

Para uma instalação avícola, as propriedades mecânicas demonstram que o painel híbrido pode ser aplicado aos aviários, quanto à solicitação de forças. Porém, quanto as propriedades físicas é necessário aplicação de verniz, resina ou demais produtos que visem a redução da absorção de água, uma vez nos aviários a umidade relativa fica em torno de 50 a 70%.

7.2 Análise microestrutural

A análise microestrutural efetuada nos painéis experimentais possibilitou a justificação do comportamento da variável absorção ser significativamente superior nos painéis híbridos, uma vez que, foi diagnosticado maior presença de espaços vazios. Além disso, foi possível visualizar a disposição das fibras após a confecção dos painéis.

7.3 Durabilidade

Com base nos resultados obtidos para as propriedades físico-mecânicas, o painel híbrido foi objeto de estudo para envelhecimento natural e acelerado. Para o envelhecimento natural foi constatado a presença de fungos (devido a absorção de água do ambiente) e delaminação do material, enquanto que para o envelhecimento acelerado foi diagnosticado mudança na coloração dos painéis. Dentre os envelhecimentos, o natural demonstrou ser mais severo.

Os ensaios de envelhecimento demonstraram significativamente redução das propriedades mecânicas (Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade), quando comparado aos painéis não envelhecidos, ficando abaixo do valor preconizado pela ANSI A208.1-1999.

7.4 Condutividade térmica

O ensaio de condutividade térmica demonstrou que o painel possui valor superior aos materiais isolantes inorgânicos e orgânicos. No entanto, a menor absorção de água do material comparado aos demais painéis à base de resíduos, sugere que a condutividade térmica seja menos oscilante quando o material estiver aplicado como forro em um aviário.

7.5 Fator de ganho de calor solar

A simulação de uma instalação avícola com painel híbrido aplicado como forro, possibilitou significativamente a redução de radiação solar para o ambiente interno, comparado a uma instalação sem painel híbrido, o que resultará em menor temperatura ambiente. No entanto, é necessário estudos a campo para diagnosticar se a temperatura ambiente de aviários com painel híbrido apresenta temperatura confortáveis as aves.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, P.G, ABREU, V.M.N. Conforto térmico para aves. **Comunicado Técnico – Embrapa**, p. 1-5, 2004.

ABREU, P.G, ABREU, V.M.N. Influência da cortina e do programa de luz no desempenho produtivo de frangos de corte e no consumo de energia elétrica. **Comunicado Técnico – Embrapa**, p. 1-4, 2006.

ABREU, P.G. et al. Condições térmicas ambientais e desempenho de aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, Belo Horizonte, v.59, n.4, p. 1014 – 1020, 2007.

ABNT 02:135.07-001/2. **Desempenho térmico de edificações parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, 2003, 28p.

ABNT 14810 (2006). **Chapas de madeira aglomerada- parte 3: Métodos de Ensaio, terminologia.** Rio de Janeiro, 32p.

ALLEY, R. et al. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima: Sumário para os Formuladores de Políticas. 26/04/2007 Disponível em: < http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/> Acesso em: 20 jan. 2012.

ALMEIDA, E. A.; GODOI, W. M.; PASSINI, R. **Avaliação da temperatura interna e externa de coberturas alternativas utilizadas em instalações avícolas.** Disponível em: <<http://www.simposiocma.com.br/arquivos/documentos/anais/comunicacoes-livres/tecnologia-e-meio-ambiente/avaliacao-da-temperatura-interna-e-externa-de-coberturas.pdf>> Acesso em: 25 mar. 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D 1435 (1994). **Standard Practice for Outdoor Weathering of Plastics.** D 1435. Philadelphia. 5p.

ANDRADE, F. A. **Preparação e Caracterização de Filmes Poliuretanos Derivados de Óleo de Mamona.** 2002. Mestrado – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Ilha Solteira.

ANSI A208.1. **American National Standard Particleboard.** 13p. 1999.

APA – **The Engineered Wood Association** . APA PRP 108. The Association, Tacoma, WA, 1994.

AVEWORLD. Avicultura na América Latina – Desafios em Comum. **Mudanças Climáticas**. Disponível em: < <http://www.aveworld.com.br/revistadigital/53/Default.html> > Acesso em: 20 set. 2012.

BAÊTA, F.C. **Ambiência em edificações rurais conforto animais**. Viçosa: UFV, 1997. 246p.

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

BARROS, A. R. F. et al. Laminados compósitos a base de fibras natural e sintética: efeito de condições ambientais adversas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17., 2006, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2006.

BEKTAS, I.; GULER, C.; KALAYCIOGLU, H.; MENGELOGLU, F.; NACAR, M. The manufacture of particleboards using sunflower stalks (*Helianthus annuus L.*) and poplar wood (*Populus alba L.*). **J. Compos. Mater**, Lancaster, v.39, n.5, p. 467–473, 2005.

BISCAR, G.A. **Meteorologia agrícola básica**. Editora UNIGRAF, 2007. 87 p.

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

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

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.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; COIADO CHAMMA, P. V. Painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, SP. v. 19, n. 1, p. 47-53, 2009.

CARNEIRO, A. C. O. et al. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de ureia-formaldeído e taninos da casca de *Eucalyptus grandis* W Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell . **Revista Árvore**, Viçosa, Minas Gerais, v.28, n.5, p. 715 – 724, 2004.

COLLI, A. et al. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de paricá (*Schyzolobium amazonicum*) e fibra de coco verde (*Cocos nucifera*). **Revista Árvore**, Viçosa, Minas Gerais, v.34, n.2, p. 333 – 338, 2010.

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, Paraíba, v.12, n.5, p. 536-539, 2008.

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

CRAVO, J. C. M. **Desempenho térmico de protótipos cobertos com telha reciclada e forro osb na criação de frangos de corte na fase de terminação**, SP. 2009, 147f. Monografia (TCZ) – Universidade Estadual Paulista, Dracena.

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

CRAVO, J.C.M. et al. Evaluation of recycled tiles and OSB ceiling materials in closed broiler house prototypes. **Rev. Bras. Cienc. Avic**, Campinas, v.11, n.5, p. 219-224, 2009.

CRAVO, J.C.M.; CRUZ, V. C.; FIORELLI, J. Atualidades das instalações avícolas paulistas: um estudo de caso. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS DA UNESP – DRACENA, 4., 2010, Dracena. **Anais...** Dracena: SICUD, 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 and Environmental Sciences**, Belém, v.55, n.2, p.154-158, 2012.

CZARICK, M. & FAIRCHILD, B. Blown stabilized fiberglass insulation. **Poultry Housing Tips**, v.21, n.1, p.01-04, 2009.

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

DIAS, F. M. Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada. In: LAHR, F. A. R. **Produtos derivados da madeira**. São Carlos: EESC/USP, 2008. p. 37-160.

FATAFTAH, A. R. A. A. e DIEYEH, Z. H. M. A. Effect of chronic heat stress on broiler performance in Jordan. **International Journal of Poultry Science**, Paquistão, v. 1, p. 64-70, 2007.

FEDERAÇÃO DE INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – Fiesp. Para presidente da Fiesp, Avicultura é o modelo de desenvolvimento. Disponível em: < http://www.fiesp.com.br/agencianoticias/2011/10/25/congresso_bras_avicultura_representantes_setor.ntc> Acesso em: 10 mar. 2012.

FEIST, W.C. Weathering and protection of wood. In: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN WOOD-PRESERVERS' ASSOCIATION, 79., 1983, Kansas City. **Proceedings...** Kansas City, 1983.

FIORELLI, J. ; CURTOLO, D. D.; GARZÓN, N. B.; JOHNSON, R.; SAVASTANO Jr., H.. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An ecoefficient product. **Industrial Crops and Products**, v. 40, p. 69-75, 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. Influência de diferentes materiais de cobertura no conforto térmico de instalações para frangos de corte no oeste paulista. **Revista Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.30, n.5, p. 986-992, 2010.

FONSECA, J. S. e MARTINS, G. A. **Curso de Estatística**. São Paulo: Atlas, 1996. 320p.

GATANI, M. P. **Utilização de casca de Mani para fabricação de chapas de partículas**. Pirassununga: USP, 2009. (Relatório de Pesquisa, Laboratório de Construções e Ambiência, FZEA/USP).

GHELFI FILHO, H. et al.; Índices de conforto térmico e da CTR para diferentes materiais de cobertura em três estações do ano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1991, Londrina. **Anais...** Londrina: SBEA, 1992. p. 94 – 110.

GONÇALEZ, J.C. et al. Efeito da radiação ultravioleta na cor da madeira de freijó (*Cordia goeldiana*) após receber produtos de acabamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, n. 4, p. 657-664, 2010.

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.

GUIOTOKU, M et al. Utilização de palitos de erva-mate na produção de painéis de aglomerado. **Comunicado Técnico**, Embrapa, p. 1-6, 2008.

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, p. 2893–2897, 2007.

HAI, L.; RONG, D.; ZHANG, Z.A. The effect of thermal environment on the digestion of broilers. **J. Anim. Physiol**, n.83, p.57-64, 2000.

HIGHLEY, T. 1999. Biodeterioration of wood. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material [M]. Wisconsin: USDA Forest Service Forest Products Laboratory, p.16.

HON, D. N.-S Weathering and photochemistry of wood. In: Hon, D.N.-S; Shiraishi, N. **Woos and cellulosic chemistry**. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 2001. 928 p.

IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. Rio de Janeiro: Sistema IBGE de recuperação automática. SIDRA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201202_4.shtm>. Acesso em: 10 fev. 2012.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas . **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.68, p. 39 – 43, 2005.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2005.

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.

KOJIMA, Y. e SUZUKI, S. Evaluating the durability of wood-based panels using internal bond strength results from accelerated aging treatments. **J Wood Sci**, v.57, p. 7-13, 2010.

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, p. 1254-1261, 2007.

MACARI, M. Estresse de calor em aves. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 686 – 716.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte. In: **Ingestão de alimentos: mecanismos regulatórios**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2002. p. 187-199.

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

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil Projeções do Agronegócio 2011/2012 a 2021/2022**. Brasília. 50p.

MARCHINI, C. F. P. et al. Morfometria da mucosa duodenal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, Belo Horizonte, v.61 n.2, p.491-497, 2009.

MARENGO, J. A. **A Caracterização do Clima no Século XX e Cenários no Brasil e na América do Sul para o século XXI derivados dos Modelos de Climas do IPCC - Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI**. São José dos Campos: INPE, 2007 (Relatório).

MARQUES, B. R. e MARTINS, L. J. R. **Poliuretano derivado de óleo de mamona: de meio ambiente a biocompatibilidade**. Disponível em: <<http://www.unisaleciano.edu.br/encontro2009/trabalho/aceitos/CC36939464859.pdf>> Acesso em: 20 mar. 2012.

MARRA, A. A. **Technology of Wood Bonding: Principles in Practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 453p. 1992.

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

MELO, R. R. et al. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* colados com ureia-formaldeído e tanino-formaldeído. **Floresta**, Curitiba, v.40, n.3, p. 497 – 506, 2010.

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

MELO, R.R. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a bioteriores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz**. 2009. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

MENDES, A. A.; NÄÄS, I. A.; MACARI, M. Produção de frangos de corte. In: MENDONÇA SOUZA, E. e MICHELAN FILHO, T. **Genética avícola**. Campinas: Fundação APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas, 2004. p. 24-34.

MENDES, A. A.; NÄÄS, I. A.; MACARI, M. Produção de frangos de corte. In: TINÔCO, I. F. F. **A granja de frangos de corte**. Campinas: Fundação APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas, 2004. p. 55-82.

MENDES, R. F. et al. Efeito da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Ciênc. Agrotec.**, Lavras, Minas Gerais, v.34, n.3, p. 610 – 617, 2010.

MORAES, S. R. P. **Caracterização de sistemas de semiclimatização de ambiente, em galpões para frangos de corte, no sudoeste de Goiás.** 2002, 161f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MORAES, S. R. P. **Caracterização de sistemas de semiclimatização de ambiente, em galpões para frangos de corte, no sudoeste de Goiás.** 2002, 161f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MOURA, D. J. et al.; Materiais de construção: desempenho das telhas térmicas nos índices de conforto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1991, Londrina. **Anais...** Londrina: SBEA, 1992. p. 114 – 131.

NÄÄS, I. A. Desenvolvimento de técnicas ambientais e construtivas através de modelagem matemática e desenvolvimento de softwares para redução de perdas na produção industrial de animais: zootecnia de precisão. Resumo projeto temático. Fac.Eng. Ag./Unicamp, 2003.

NÄÄS, I. A. et al.; Avaliação térmica de telhas de composição de celulose e betumem, pintadas de branco, em modelos aviários com escala reduzida. **Revista de Engenharia Agrícola**, Joticabal, v. 21, n.2, p. 121-126, 2001.

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

NOGUEIRA, M. C. S. **Experimentação Agrônômica I.** Piracicaba, 2007.

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.

PABLO, A. A.; PEREZ, E. B.; ELLA, A. B. **Development of particleboard on a pilot-plant and semi-commercial scale using plantation and secondary wood species and agricultural fibrous waste materials.** Forest Products Research and Industries Development Commission, University of the Philippines, Philippines, 1975.

PAES, J. B. et al. Qualidade de chapas de partículas de *Pinus elliottii* coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.21, n.3, p. 551 – 558, 2011.

PANYAKAEW, S. e FOTIOS, S. New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. **Energy and Buildings**, 2011.

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

PASSOS, P. R. A. **Destinação sustentável de cascas de coco (*cocos nucifera*) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas**. 2005. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PROTOLAB. **Condutividade térmica**. Disponível em: <http://www.protolab.com.br/Condutividade_Termica.htm> Acesso em: 20 jan. 2012.

RAZUKI, W. M. et al. Productive performance of four commercial broiler genotypes reared under high ambient temperatures. **International Journal of Poultry Science**, v. 10, n. 2, p. 87 – 92, 2011.

RESENDE, O; BATISTA, J. A.; RODRIGUES, S. Caracterização de instalações avícolas em diversos municípios do estado de Rondônia. **Gl. Sci. Technol.**, v. 1, n. 9, p. 71 – 81, 2008.

RODRIGUES, S. Avaliação de material isolante de cobertura no desempenho térmico de frangos de corte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: 1998. p. 106-165.

ROWELL, R. M. A new generation of composite materials from agro-based fiber. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FRONTIERS OF POLYMERS AND ADVANCED MATERIAL, 3., 1995, Kuala Lumpur, ML. **Proceedings...** Kuala Lumpur, 1995. p. 659-665.

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.

SACHT, H.M.; ROSSIGNOLO, J.A.; SANTOS, W.N. Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 31-39, 2010.

SAMPAIO, C. A. P.; CARDOSO, C. O.; SOUZA, G. P. Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico. **Revista Eng. Agríc. Jaboticabal**, Jaboticabal, v.31, n.2, p. 230-236, 2011.

SAMPATHRAJAN, A.; VIJAYARAGHAVAN, N. C.; SWAMINATHAN, K. R. Mechanical and thermal properties of particle boards made from farm residues. **Bioresource Technology**, Essex, v. 40, p. 249-251, 1991.

SARMENTO, L. G. V. et al. Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia, v. 26, n. 2, p. 117 – 122, 2005.

SEVEGNANI, K. B.; FILHO, G. H.; SILVA, I. J. O. Comparação de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico. **Sci. agri**, Piracicaba v. 51, n. 1, p. 01 – 07, 1994.

SILVA, I. J. O; GHELFI FILHO, H; CONSIGLIERO, F. R. Influência dos materiais de cobertura no conforto térmico de abrigos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., 1990, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba:[s.n], 1990. p. 92 – 106.

SILVA, J.O. e PASTORE, T.C.M. Fotodecomposição e proteção de madeiras tropicais. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 07 – 13, 2004.

SILVA, S. A. M. et al. Avaliação da resistência à tração perpendicular e da densidade de chapas de fibras de média densidade confeccionadas com resina poliuretana monocomponente e bicomponente derivada do óleo de mamona. **Pesquisa e Tecnologia Minerva**, São Carlos, v.5, n.3, p. 235 – 240, 2008.

SWART, R.; ROBINSON, J.; COHEN, S. Climate change and sustainable development: expanding the options. **Climate Policy**, v. 1, p. 19–40, 2003.

TANGJUANK, S. e KUMFU, S. Particle boards from papyrus fibers as thermal insulation. **Journal of Applied Sciences**, v. 11, n. 14, p. 2640-2645, 2011.

TANGJUANK, S. Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves. **International Journal of Physical Sciences**, v. 6, n. 19, p. 4528-4532, 2011.

TEMIZ, A. et al. Surface roughness and color characteristics of wood treated with preservatives after accelerated weathering test. **Applied Surface Science**, Amsterdam, n. 205, p. 35-42, 2005.

TIMOSHENKO, S. P. **Resistência dos materiais**. v. 1. Rio de Janeiro, 1976.

TINÔCO, I. F. Efeito de diferentes sistemas de acondicionamento de ambiente e níveis de energia metabolizável na dieta, sobre o desempenho de matrizes de frangos de corte, em

condições de verão e outono. 1996. 169 f. Tese (Tese em Construções Rurais) – Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte.

TINÔCO, I. F.F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepção e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.3, n.1, p. 01-26, 2001.

UBA - União Brasileira de Avicultura. Disponível em: <<http://www.abef.com.br/uba>> Acesso em: 15 jan. 2012.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade**, 2011. p. 1-28.

VAN DAM, J. E. G., VAN DEN OEVER, MARTIEN J. A., KEIJERS, E. R. P. Production process for high density high performance binderless boards from whole coconut husk. **Industrial Crops and Products**, v. 20, p. 97-101, 2004.

VAN DAM, J.E.G., 2002. Wet processing of coir—drying, bleaching, dyeing, softening and printing. CFC/FAO Techno-economic manual No. 6.

VARANDA, L. D. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis***. 2012. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

VARJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Versão digital 2. Recife, Pernambuco, 2006.

VAYEGO, S. A.; DIONELLO, J. L.; FIGUEIREDO, E. A. P. Estimativas de parâmetros e tendências genéticas para algumas características de importância econômica em linhagem paterna de frangos de corte sob seleção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 7, p. 1230-1235, 2008.

WANG, D. e SUN, X. S. Low density particleboards from wheat straw and corn pith. **Industrial Crops and Products**, p. 43 – 50, 2002.

WANG, S. H. Construction Materials Science, China Construction Industry Publisher, Beijing, 1988.

WEI-HONG, W. et al. Effect of moisture and fungal exposure on the mechanical properties of hem-fir plywood. **Journal of Forestry Research**, China, v. 16, n. 4, p. 299-300, 2005.

XU, J. et al. Manufacture and properties of low-density binderless particleboard from kenaf core. **Journal. Wood Science**. Japão, v. 50, p. 62-67, 2004.

ZHOU, X. Y. et al. An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 42, p. 1070-1074, 2010.