

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

EDUARDO SIQUEIRA CADETE

**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE FORRO E SUBCOBERTURA
EM BAMBU NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO**

Maceió

2023

EDUARDO SIQUEIRA CADETE

**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE FORRO E SUBCOBERTURA
EM BAMBU NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, área de concentração em Dinâmicas do Espaço Habitado, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa

Maceió

2023

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

C123a Cadete, Eduardo Siqueira.

Análise de desempenho térmico de forro e subcobertura em bambu na região do semiárido / Eduardo Siqueira Cadete. – 2023.
113 f. : il. color.

Orientador: Ricardo Victor Rodrigues Barbosa.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. [107]-113.

1. Desempenho térmico. 2. Forro de bambu. 3. Semiárido - Alagoas. 4. Células-teste. 5. Bambu *Guadua paniculata*. I. Título.

CDU: 72:551.58(813.5)

A Deus e a minha esposa, razões da
minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, pois sem ele nada seria. Foi através da fé e oração que consegui a determinação para chegar até aqui. Ao grande tesouro da minha vida, minha esposa, grande parceira e amiga que sempre me motivou. À Comunidade Católica Shalom, minha grande família espiritual.

Aos professores Tobyas Maia (Zootecnia) e André Moura (Física) do Campus Arapiraca, pelo fornecimento de equipamentos, materiais e conhecimento para a realização desta pesquisa.

Ao meu querido e amigo orientador, Ricardo Victor, pela paciência, cuidado e confiança no meu trabalho.

Ao CNPQ pelo apoio através da concessão da bolsa de estudos do mestrado.

Aos meus amigos do grupo de pesquisa (GATU – Grupo de estudos da atmosfera climática urbana), que muito contribuíram para a realização desse trabalho, em especial, Wellington Souza, Rogério de Jesus, Dayany Barreto e Bruna Nascimento.

RESUMO

A cobertura se caracteriza por ser um importante meio de transferência de calor entre a área interna e externa da edificação. A utilização de uma cobertura eficiente com um forro ou subcobertura, econômica e durável pode resolver grandes problemas ocasionados pelo alto índice de desconforto térmico no usuário durante os períodos quentes e secos de um determinado lugar. Dessa forma, um estudo detalhado para identificar possíveis materiais que possam promover menores números de amplitude térmica e amortização térmica podem contribuir no desempenho térmico do material para a cobertura. Nesse contexto, o bambu surge como uma alternativa que apresenta muitas vantagens, como alta resistência, rápido crescimento e alto rendimento. Além de se tratar por um elemento natural e biodegradável de baixo custo, que não requer mão de obra especializada, além de ser facilmente encontrada na região de Arapiraca, Alagoas. O objetivo dessa pesquisa é identificar e potencializar as vantagens do bambu (*Guadua paniculata*) como subcobertura e forro frente aos sistemas convencionais de cobertura (telha cerâmica e telha de fibrocimento) no contexto climático do semiárido alagoano, de clima quente e seco. Como método foi elaborado uma revisão sistemática de literatura nas plataformas de busca *Web of Science* e *Scopus* em um recorte temporal de 30 anos, a respeito do uso do bambu na construção civil e o monitoramento de dados horários de temperatura superficiais externas e internas da cobertura e dos forros e subcoberturas, além da temperatura do ar interna no ático e no interior das células-teste. Como resultados encontrados, a utilização da subcobertura para o contexto climático do semiárido alagoano, se mostrou favorável para ambos os tipos de cobertura analisados, chegando à diferença média de temperatura superficial de até 7,8 °C e 15,3 °C em termos absolutos ao meio-dia, quando o sol estava com altura mais elevada. Além disso, o forro fixado sem a utilização da subcobertura pode ser recomendado apenas para a cobertura com telha cerâmica. A temperatura do ar interno (abaixo do forro), chegou a uma diferença média de 0,8 °C com a telha cerâmica (comparando a S-BF com a célula testemunho) enquanto na cobertura de fibrocimento essa diferença média chegou a 1,6 °C, evidenciando que a temperatura do ar na S-BF estava mais aquecida que a célula-teste testemunho. A utilização do bambu como forro e subcobertura foi uma estratégia eficiente para evitar amplitude térmica elevada no ambiente interno, aspecto importante para obtenção do conforto térmico, podendo também contribuir para qualidade estética e ambiental urbana. Sobretudo, pode-se destacar a influência da cobertura, na qual a telha cerâmica apresentou bons resultados de amortização térmica entre as células com subcobertura e forro de bambu comparadas à célula-teste testemunho.

Palavras-chave: desempenho térmico; forro de bambu; semiárido; células-teste; bambu *Guadua paniculata*.

ABSTRACT

The roofing is defined as an important way of heat exchange between the internal and external areas of the building. The use of an efficient roofing with an affordable and feasible ceiling or under-coverage can solve huge problems caused by the high levels of the user thermal discomfort during the hot and dry periods of a certain place. This way, a detailed study to identify possible materials which may promote lower numbers of thermal amplitude and thermal amortization may contribute to the thermal performance of the material to the roofing. In this context, the bamboo appears as an alternative which presents many advantages, such as high resistance, fast growing and high performance. Besides, it is a natural and low-cost biodegradable element, which does not require specialized labor, and it is easily found in the region of Arapiraca, Alagoas. The main purpose of this research is to identify and potentialize the advantages of the bamboo (*Guadua paniculata*) as an under-coverage and ceiling facing the conventional systems of roofing (ceramic tile and fiber-cement tile) in the climatic context of the semiarid of Alagoas, which is hot and dry. As a method, it was elaborated a systematic review of literature on the search platforms Web of Science and Scopus with a timeline of 30 years, about the use of bamboo on civil construction and the monitoring of time data of internal and external surface temperature of roofing, ceilings and under-coverage, besides the internal air temperature in the attic and in the interior of the test cell. The results found present the use of under-coverage to the semiarid climatic context as feasible for both of the types of analyzed roofing, achieving an average difference of surface temperature of 7.8 °C and 15.3°C in absolute terms at midday, when the sun was in the highest position. In addition, the fixed ceiling without the use of under-coverage can be recommended only for the roofing with ceramic tile. The internal air temperature (under the ceiling) achieved an average difference of 0.8 °C with the ceramic tile (comparing to S-BF with the testimonial cell), while on the fiber-cement roofing, this average difference achieved 1.6 °C, highlighting that the air temperature in the S-BF was hotter than the cell in this testimony. The use of bamboo as a ceiling and under-coverage was an efficient strategy to avoid thermal amplitude inside the internal environment, which is an important aspect to obtain thermal comfort, which may also contribute to the esthetic and environmental urban quality. Above all, it is possible to highlight the influence of the roofing, in which the cell with the under-coverage presented good results of thermal amortization between the cells with bamboo under-coverage and ceiling compared to the testimonial test cell.

Keywords: thermal performance; bamboo ceiling; semiarid; test cells; *Guadua paniculata* bamboo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas de cultivo de bambu ao redor do mundo	25
Figura 2 - Gráfico do número de artigos e os seus respectivos países onde foram elaborados.....	26
Figura 3 - Cinco diferentes tipologias de painel de bambu	29
Figura 4 - Composição da parede com bambu, aço, isolante, argamassa e poliestireno	30
Figura 5 - Fachada de bambu com uma, duas e três camadas de bambu, respectivamente	31
Figura 6 - Cenários estudados por Kandya e Mohan (2018).....	32
Figura 7 - (A) Face externa da parede de bambu com biogesso; (B) Face interna da parede com biogesso gesso; (C) Imagem termográfica da parede sem biogesso e (D) com biogesso.	33
Figura 8 - (A) contêiner sem bambu (B) contêiner revestido internamente com bambu	34
Figura 9 - Região semiárida brasileira e semiárido alagoano.....	44
Figura 10 - Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis BIO com dados do TRY(2010) para a cidade de Arapiraca-AL	45
Figura 11 - (A) Planta de situação e localização das células-teste no Campus Arapiraca, (B) e (C) Localização e seleção das cinco células-teste no canteiro experimental	46
Figura 12 - Projeto da célula-teste sem escala no <i>Campus</i> Arapiraca.....	46
Figura 13 - Distanciamento entre si das células-teste.....	47
Figura 14 - Estudo de insolação das células-teste	47
Figura 15 - (A) modelo do bambu trançado – BT, (B) modelo bambu fixado – BF, (C) Processo de envernizamento de um dos forros.....	48
Figura 16 - Corte esquemático da célula-teste com forro BT ou BF sem escala	48
Figura 17 – (A) 01 Célula-teste de referência sem o forro, (B) 02 Células-teste com forro BT ou BF e (C) 02 Célula-teste com forro BT ou BF com varas de taboca em contato com a cobertura.....	49
Figura 18 - Termopar (Equipamento de temperatura superficial).....	50
Figura 19 - (A) processo de inserção do termopar na célula-teste; (B) Corte esquemático da célula-teste	50
Figura 20 - Datalogger HOBO® UX100-003	51
Figura 21 – (A) data logger HOBO® U23-003 da ONSET® (B) Altura do hobo no poste in loco.....	52

Figura 22 - Comportamento da temperatura superficial externa nas cinco células-teste no período de 12 a 15/02/2022.	53
Figura 23 - Comportamento da temperatura superficial interna cobertura ou na subcobertura de bambu nas cinco células-teste no período de 12 a 15/02/2022.	54
Figura 24 - Diferenças horárias da temperatura superficial na face interna da cobertura/subcobertura entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, no período de 12 a 15/02/2022.	56
Figura 25 - (a) Valores médios horários da temperatura superficial na face interna da cobertura nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho	57
Figura 26 - Gráfico boxplot do comportamento térmico da temperatura superficial interna nas cinco células-teste no período de 12 a 15/02/2022.	58
Figura 27 - Comportamento horário da temperatura superficial na face interna do forro nas quatro células-teste no período de 12 a 15/02/2022.	61
Figura 28 - Diferenças horárias da temperatura superficial na face interna do forro entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, no período de 12 a 15/02/2022.	62
Figura 29 - (a) Valores médios horários da temperatura superficial na face interna dos forros nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho.	64
Figura 30 - Gráfico boxplot do comportamento térmico da temperatura superficial interna dos forros nas quatro células-teste com forro e da face interna da telha na célula-teste Testemunho no período de 12 a 15/02/2022.	65
Figura 31 - Comportamento da temperatura do ar no ático do forro nas quatro células-teste no período de 12 a 15/02/2022.	67
Figura 32 - (a) Valores médios horários da temperatura do ar no ático nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho.	68
Figura 33 - Gráfico boxplot do comportamento térmico da temperatura do ar no ático nas quatro células-teste com forro e do ar interno na célula-teste Testemunho no período de 12 a 15/02/2022.	69

Figura 34 - Comportamento da temperatura do ar no interior das cinco células-teste no período de 12 a 15/02/2022.	71
Figura 35 - Diferenças horárias da temperatura do ar interna entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, no período de 12 a 15/02/2022.	72
Figura 36 - (a) Valores médios horários da temperatura do ar no interior nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura do ar nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho	74
Figura 37 - Gráfico boxplot do comportamento térmico da temperatura do ar interna nas cinco células-teste no período de 12 a 15/02/2022.....	75
Figura 38 - Comportamento da temperatura superficial externa nas cinco células-teste no período de 05 a 08/04/2022	78
Figura 39 - Comportamento da temperatura superficial interna cobertura ou na subcobertura de bambu nas cinco células-teste nos dias 05 e 06/04/2022	79
Figura 40 - Diferenças horárias da temperatura superficial na face interna da cobertura/subcobertura entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, nos dias 05 e 06/04/2022.....	80
Figura 41 - (a) Valores médios horários da temperatura superficial na face interna da cobertura nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho	82
Figura 42 - Gráfico boxplot do comportamento térmico da temperatura superficial interna nas cinco células-teste nos dias 05 e 06/04/2022	83
Figura 43 - Comportamento horário da temperatura superficial na face interna do forro nas quatro células-teste nos dias 05 e 06/04/2022.....	85
Figura 44 - Diferenças horárias da temperatura superficial na face interna do forro entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, nos dias 05 e 06/04/2022	86
Figura 45 - (a) Valores médios horários da temperatura superficial na face interna dos forros nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho	87
Figura 46 - Gráfico boxplot do comportamento térmico da temperatura superficial interna dos forros nas quatro células-teste com forro e da face interna da telha na célula-teste Testemunho nos dias 05 a 06/04/2022	89

Figura 47 - Comportamento da temperatura do ar no ático do forro nas quatro células-teste nos dias 05 e 06/04/2022	91
Figura 48 - (a) Valores médios horários da temperatura do ar no ático nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho	92
Figura 49 - Gráfico boxplot do comportamento térmico da temperatura do ar no ático nas quatro células-teste com forro e do ar interno na célula-teste Testemunho nos dias 05 e 06/04/2022	93
Figura 50 - Comportamento da temperatura do ar no interior das cinco células-teste nos dias 05 e 06/04/2022	95
Figura 51 - Diferenças horárias da temperatura do ar interna entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, nos dias 05 e 06/04/2022	96
Figura 52 - (a) Valores médios horários da temperatura do ar no interior nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura do ar nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho	97
Figura 53 - Gráfico <i>boxplot</i> do comportamento térmico da temperatura do ar interna nas cinco células-teste nos dias 05 e 06/04/2022	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores obtidos por Bruges et al. (2018) para as três camadas de bambu	32
Tabela 2 - Valores de transmitância térmica de materiais de isolamento encontrados por Nadapala e Halwatura (2021)	35
Tabela 3 - Métodos de análise do desempenho térmico do bambu na pesquisa e seus respectivos autores e ano de publicação.	36
Tabela 4 - Propriedades do aço de bambu	41
Tabela 5 - Nomenclatura das células-teste	52
Tabela 6 - Desvio padrão e valores máximos, mínimos e médios da temperatura superficial externa nas cinco células-teste durante o monitoramento	53
Tabela 7 - Estatística descritiva da temperatura superficial interna da cobertura ou na subcobertura de bambu nas cinco células-teste durante os dias de monitoramento	55
Tabela 8 - Diferenças térmicas absolutas, médias e desvio padrão da temperatura superficial na face interna da cobertura/subcobertura entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho no período de 12 a 15/02/2022	56
Tabela 9 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura a partir de análise comparativa entre os tratamentos com o mesmo tipo de forro.	59
Tabela 10 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura.	60
Tabela 11 - Valores da temperatura superficial na face interna do forro nas quatro células-teste durante os dias de monitoramento	61
Tabela 12 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna do forro entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho no período de 12 a 15/02/2022.	62
Tabela 13 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna do forro a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de forro.	65
Tabela 14 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna do forro a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura.	66

Tabela 15 - Valores da temperatura do ar no ático nas quatro células-teste durante os dias de monitoramento.....	67
Tabela 16 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar no ático a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de forro.	69
Tabela 17 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar no ático a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura.	70
Tabela 18 - Estatística descritiva da temperatura do ar no interior das cinco células-teste durante os dias de monitoramento	71
Tabela 19 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar interna entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho no período de 12 a 15/02/2022.	73
Tabela 20 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar interno a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de forro.....	75
Tabela 21 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar interno a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura	76
Tabela 22 - Desvio padrão e valores máximos, mínimos e médios da temperatura superficial externa nas cinco células-teste durante o monitoramento	78
Tabela 23 - Estatística descritiva da temperatura superficial interna da cobertura ou na subcobertura de bambu nas cinco células-teste durante os dias de monitoramento	79
Tabela 24 - Diferenças térmicas absolutas, médias e desvio padrão da temperatura superficial na face interna da cobertura/subcobertura entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho nos dias 05 e 06/04/2022	81
Tabela 25 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de forro	83
Tabela 26 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura	84
Tabela 27 - Valores da temperatura superficial na face interna do forro nas quatro células-teste durante os dias de monitoramento	85
Tabela 28 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna do forro entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho nos dias 05 e 06/04/2022.....	86

Tabela 29 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna do forro a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de forro	88
Tabela 30 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna do forro a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura	90
Tabela 31 - Valores da temperatura do ar no ático nas quatro células-teste durante os dias de monitoramento.....	91
Tabela 32- Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar no ático a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de forro.....	92
Tabela 33 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar no ático a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura	94
Tabela 34 - Estatística descritiva da temperatura do ar no interior das cinco células-teste durante os dias de monitoramento	95
Tabela 35 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar interna entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho nos dias 05 e 06/04/2022	96
Tabela 36 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar interno a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de forro.....	98
Tabela 37 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar interno a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Protocolo utilizado para o mapeamento sistemático	24
Quadro 2 - Resultado da análise e critérios de exclusão	25
Quadro 3 - Estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade de Arapiraca - AL.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EVA	Etileno acetato de vinila
CT	Célula-teste
PVC	Policloreto de vinila
RSL	Revisão sistemática de literatura
Temp.	Temperatura
Máx.	Máximo
Méd.	Média
Mín.	Mínimo
N	Norte
Rad	Radiação
TC	Telha cerâmica
TF	Telha fibrocimento
BT	Bambu trançado
BF	Bambu fixado
S-BF	Célula-teste sem subcobertura com forro de bambu fixado
S-BT	Célula-teste sem subcobertura com forro de bambu trançado
C-BF	Célula-teste com subcobertura com forro de bambu fixado
C-BT	Célula-teste com subcobertura com forro de bambu trançado
BMB	<i>Bamboo mat board</i> (esteira trançada de bambu)
BPB	<i>Bamboo particleboard</i> (aglomerado de bambu)
BOSB/OSB	<i>Bamboo oriented strand board</i> (placa compensada com fibra de bambu)
BSB	<i>Laminated bamboo sheet</i> (folha de bambu laminado)
BFB	<i>Bamboo scrimber</i> (fibras de bambu)
U	Transmitância térmica
R	Resistência térmica
W	Fluxo de calor
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
Temp.Máx.	Temperatura máxima
Temp.Mín.	Temperatura mínima
Temp.Méd.	Temperatura média
σ	Desvio padrão
Abs.	Temperatura absoluta
Méd.	Temperatura média
Test.	Célula-teste testemunho
Mín.(resfr.)	Temperatura mínima referindo-se ao resfriamento da temperatura superficial do material ou do ar
Máx.(aquec.)	Temperatura máxima referindo-se ao aquecimento da temperatura superficial do material ou do ar
xT	Células com ou sem subcobertura com forro trançado
xF	Células com ou sem subcobertura com forro fixado
Sx	Células sem subcobertura com forro fixado ou trançado
Cx	Células com subcobertura com forro fixado ou trançado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivo.....	20
1.2 Estrutura da dissertação	21
2. A UTILIZAÇÃO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL	22
2.1 Trabalhos relevantes sobre a temática.....	25
2.1.1 O desempenho térmico do bambu aplicado em elementos construtivos e componentes em edificações.....	26
2.1.2 O bambu em habitações tradicionais e estratégias bioclimáticas	26
2.1.3 O Scrimber e fibras do bambu	28
2.1.4 Paredes e painéis compostos com bambu	30
2.1.5 O bambu em coberturas	34
2.1.6 Métodos usados para análise do desempenho térmico do bambu na construção civil	36
2.1.7 Tendências e limitações do uso do bambu na construção civil	40
2.2 Considerações finais do capítulo	42
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	44
3.1 Caracterização da área de estudo.....	44
3.2 Descrição das células-teste	45
3.3 Etapas da pesquisa	47
3.4 Materiais da cobertura e da subcobertura	47
3.5 Sistemas de subcoberturas analisados	48
3.6 Monitoramento dos dados de temperatura superficial	49
3.7 Monitoramento dos dados de temperatura do ar interno.....	51
3.8 Monitoramento dos dados de temperatura do ar externo	51
3.9 Nomenclatura das células-teste.....	52
4. ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE FORRO E SUBCOBERTURA DE BAMBU EM COBERTURA DE TELHA CERÂMICA.....	53
4.1 Temperatura superficial externa.....	53
4.2 Temperatura superficial na face interna da cobertura ou na subcobertura. 54	
4.2.1 Influência da subcobertura.....	59
4.2.2 Influência do tipo de forro	59
4.3 Temperatura superficial na face interna do forro	60
4.3.1 Influência da subcobertura.....	64

4.3.2 Influência do tipo de forro	66
4.4 Temperatura do ar no ático	67
4.4.1 Influência da subcobertura	69
4.4.2 Influência do tipo de forro	70
4.5 Temperatura do ar no interior da célula-teste	71
4.5.1 Influência da subcobertura	75
4.5.2 Influência do tipo de forro	76
4.6 Considerações finais do capítulo	76
5. ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SUBCOBERTURA E FORRO DE BAMBU EM COBERTURA DE TELHA FIBROCIMENTO	78
5.1 Temperatura superficial externa	78
5.2 Temperatura superficial na face interna da cobertura ou na subcobertura	79
5.2.1 Influência da subcobertura	83
5.2.2 Influência do tipo de forro	84
5.3 Temperatura superficial na face interna do forro	84
5.3.1 Influência da subcobertura	88
5.3.2 Influência do tipo de forro	90
5.4 Temperatura do ar no ático	90
5.4.1 Influência da subcobertura	92
5.4.2 Influência do tipo de forro	94
5.5 Temperatura do ar no interior da célula-teste	95
5.5.1 Influência da subcobertura	98
5.5.2 Influência do tipo de forro	99
5.6 Considerações finais do capítulo	100
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
REFERÊNCIAS	105

1. INTRODUÇÃO

A cobertura se caracteriza por ser um importante meio de transferência de calor entre área interna e externa da edificação. Quando bem planejada, essa superfície pode contribuir para o conforto térmico nos ambientes internos, além de reduzir o consumo de energia usado para resfriamento. Em edificações térreas, a cobertura apresenta grande taxa de ganho de calor, haja vista ser a superfície mais exposta à radiação solar direta (PIRES; WESTPHAL, 2014). Para Peralta (2006), a radiação solar é a principal variável a interferir no comportamento térmico das superfícies da envoltória. Assim, os materiais e o tratamento usados na cobertura são fatores determinantes para a redução da carga térmica no interior das edificações.

Na abordagem do desempenho térmico de edificações, o forro é um elemento importante a ser considerado, uma vez que se constitui em barreira de obstrução ao fluxo térmico originado pela radiação emitida pelas telhas da cobertura da edificação (FRANSOZO, 2003, p. 41). Dessa forma, o material usado na confecção do forro interfere na eficiência térmica da habitação.

No que se refere ao forro com material alternativo, Moraes (2011); Vieira, Borodinecs e Lima (2018); Silva, *et al.* (2015) e Cembranel, *et al.* (2019) desenvolveram estudos utilizando o Tetra Pak, voltados ao conforto e desempenho térmico. O reaproveitamento das embalagens Tetra Pak como forro contribuiu para as reduções de valores médios de índice de temperatura e umidade, além da carga térmica de radiação. O resultado foi mais significativo, principalmente nas regiões com clima quente e seco.

Ainda sobre forros, Santos *et al.* (2016) também fizeram análise de forros usando protótipos cobertos por telhas de fibrocimento, sendo os tratamentos sem forro (controle), forro à base de EVA e embalagens longa vida (Tetra Pak). Os resultados obtidos pelos autores mostraram-se favoráveis também ao EVA, por proporcionar melhores condições de conforto no interior das instalações, com diminuição da temperatura interna de 0,5°C.

O desenvolvimento e a promoção de materiais usados na construção civil, produzidos a partir de fontes renováveis, é pauta recorrente da agenda de edifícios sustentáveis, com vistas à substituição de recursos não renováveis e altamente poluentes, como concreto, aço e alvenaria de tijolo queimado (SHAN *et al.*, 2020). Nesse contexto, o bambu surge como uma alternativa que apresenta muitas vantagens, como alta resistência, rápido crescimento e alto rendimento.

A experiência adquirida em construções civis demonstra que o bambu pode ser considerado um material sustentável capaz de substituir a madeira em muitos elementos construtivos com funções estruturais, segundo Bambi *et al.* (2019). Os autores ressaltam que um dos limites do uso do bambu na construção civil refere-se à sua durabilidade natural. Em comparação à madeira, o bambu pode ser mais vulnerável à deterioração, devido à ausência de elementos químicos protetores, além da presença de uma seção vazada que favorece a colonização de diferentes patógenos capazes de deteriorar a estrutura do bambu (BAMBI *et al.*, 2019).

A nível do desempenho térmico de forros, Cadete e Barbosa (2019) identificaram o potencial do uso do bambu como forro, em comparação ao convencional de PVC, na redução de temperatura do ar interna na edificação. Uma boa estratégia para regiões de clima quente, como no agreste. Destacaram ainda que os forros apresentaram bom desempenho térmico, com redução da temperatura do ar interior na ordem de 3,0 °C (PVC) e 2,8 °C (bambu), em relação à temperatura do ar exterior, e redução em torno de 0,7 °C (ambos os forros), em relação à célula-teste sem forro.

Apesar do uso do bambu em construções ser frequente, pouco se sabe sobre as suas propriedades térmicas, quando aplicado como material construtivo. Bruges *et al.* (2018) e Dahlan e Ghaffarianhoseini (2016) destacam a dificuldade de encontrar literatura sobre o comportamento térmico do bambu para estudos de conforto térmico. Desse modo, investigar o que já existe e organizar as informações técnicas, orientações, propriedades térmicas e resultados de estudos de desempenho térmico do bambu, é importante para orientar pesquisas nesta área.

Em regiões com climas mais rigorosos, maior atenção deve ser dada quanto aos elementos construtivos usados nas edificações. Esses elementos podem contribuir em um aumento de carga térmica para o interior da edificação, não atendendo a critérios mínimos de conforto para os usuários, uma vez que o usuário se defronta com variações climáticas e transformações no solo, como é o caso do semiárido brasileiro (MARÇAL, *et al.*, 2019).

A utilização de uma cobertura eficiente, econômica e durável pode resolver grandes problemas ocasionados pelo alto índice de desconforto térmico no usuário durante os períodos quentes e secos do município. Ao se pensar na resolução dos problemas térmicos, se faz necessário o estudo de materiais alternativos de baixo custo e disponíveis na região do semiárido para que sistemas de cobertura eficientes possam ser de amplo alcance para os usuários.

Quanto ao aspecto social do semiárido brasileiro, em torno de 62% da população residente na região é composta por famílias com baixa renda, recebendo até 1 salário-mínimo, enquanto que mais de 50% das famílias são atendidas por programas sociais (LUSTOSA e ROSÁRIO, 2011). Assim, a autoconstrução surge como alternativa na provisão de moradias, frente à carência de recursos econômicos, por proporcionar redução do custo com mão-de-obra e dispensa da ação de agentes intermediários na produção da casa própria.

Em relação as coberturas mais acessíveis a população do agreste alagoano, conforme a NBR 15575 (2021), a telha cerâmica consegue atender os critérios mínimos na zona 8, mesmo sem a utilização do forro, que se trata de uma zona com estratégias com grandes aberturas para ventilação e sombreamento de todas as aberturas.

A telha cerâmica e a de fibrocimento, são analisadas pela CIBIC (2013), utilizando variáveis com forros a fim de compreender se atendem a requisitos mínimos de desempenho térmico, uma vez que, são as mais encontradas nas habitações populares. A telha cerâmica possuiu uma alta capacidade de absorção de água, diferente da telha de fibrocimento, durante o dia a água acumulada na telha é gasta no processo de evaporação da água absorvida, tendo um atraso para que as telhas sejam aquecidas, enquanto a de fibrocimento tende a esquentar com mais rapidez, devido à falta de água absorvida pela telha.

Os estudos aqui propostos permitirão que projetistas façam uso dos resultados obtidos, aplicando-os na construção de edificações mais sustentáveis, mais eficientes, com menor gasto energético e adequadas ao clima local. Em vista disso, observa-se a necessidade de um aprofundamento maior, a respeito do desempenho térmico do tipo de cobertura mais utilizado nas Habitações de Interesse Social (HIS) no contexto climático, mais específico da cidade de Arapiraca; e, nesse caso, a telha cerâmica colonial capa-canal com coloração tradicional (cor terracota/vermelha) e alguns sistemas de subcoberturas alternativos e sustentáveis. A exemplo do bambu, cuja espécie é a *Guadua paniculata*, popularmente conhecido por Taboca. Essa espécie se trata de um elemento natural, vegetal, biodegradável, de baixo custo, que não requer mão de obra especializada, além de ser facilmente encontrada na região de Arapiraca.

1.1 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho foi analisar o desempenho térmico do bambu aplicado como forro e subcobertura na cidade de Arapiraca-AL (clima quente e seco), semiárido alagoano.

Para tanto, foi necessário estabelecer os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma revisão sistemática de literatura para analisar o potencial de uso do bambu na construção civil;
- Analisar o desempenho térmico das células com forro de bambu fixado e trançado, (BF e BT) respectivamente, sem subcobertura (S-BF e S-BT) e com subcobertura (C-BF e C-BT) utilizando cobertura em telha cerâmica;
- Analisar o desempenho térmico das células com forro de bambu fixado e trançado, (BF e BT) respectivamente, sem subcobertura (S-BF e S-BT) e com subcobertura (C-BF e C-BT) utilizando cobertura em telha de fibrocimento.

1.2 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos. O primeiro deles aborda uma breve introdução ao tema e os objetivos do trabalho. O segundo apresenta uma revisão sistemática de literatura como referencial teórico sobre a utilização do bambu na construção civil, evidenciando sua potencialidade como material construtivo e estudo sobre seu desempenho térmico. No terceiro capítulo, são apresentados os procedimentos metodológicos da pesquisa, demonstrando primeiramente a caracterização climática da área de estudo, a cidade de Arapiraca, localizada no agreste alagoano, citando também as estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade, como também os forros de bambu, as células-teste utilizadas, variáveis monitoradas, equipamentos, parâmetros de análise e as etapas da pesquisa. No quarto capítulo, são demonstrados os resultados da primeira etapa da pesquisa: análise do desempenho térmico do forro e subcobertura de bambu em cobertura com telha cerâmica. Já no quinto capítulo, encontra-se a análise dos resultados obtidos da segunda etapa da pesquisa: análise do desempenho térmico do forro e subcobertura de bambu em cobertura com telha de fibrocimento. Por fim, o último capítulo apresenta as considerações finais da pesquisa, apresentando também as limitações e propostas de trabalhos futuros e logo após, as referências utilizadas.

2. A UTILIZAÇÃO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A temática sobre materiais sustentáveis, há algum tempo, tem sido objeto de discussão na construção civil. O desenvolvimento e a promoção de materiais renováveis neste setor são importantes para a substituição de recursos não renováveis e altamente poluentes, como concreto, aço e a alvenaria de tijolo (SHAN *et al.*, 2020). Nesse contexto, o bambu surge como uma alternativa que apresenta muitas vantagens, como alta resistência, rápido crescimento e alto rendimento, sendo também um material de construção benéfico na proteção do meio ambiente e redução da utilização de madeira. Além disso, apresenta alta relação resistência/peso, aliada a um bom desempenho quanto a resistência sísmica (SHAN *et al.*, 2020).

O bambu é definido por Huang e Sun (2021) como um capim gigante que apresenta o crescimento mais rápido entre todas as plantas existentes. Espécies como *Phyllostachys pubescens*, *Dendrocalamus strictus*, *Bambusa balcooa* e *Thyrsostachys siamensis* são comuns e possuem grande potencial para a indústria. A maioria das florestas de bambu crescem naturalmente e são cultivadas principalmente na região da Ásia-Pacífico, além da América e África (HUANG e SUN, 2021).

A região que compreende Ásia e Oceano Pacífico (incluindo áreas tropicais, subtropicais e temperadas) compreende as principais regiões produtoras de bambu, nas quais China, Índia, Indonésia e Vietnã são países que se destacam na produção. Essa região tem uma longa história na utilização do bambu, que se apresenta como importante matéria prima para ferramentas, objetos do cotidiano e construção civil, apesar de ser considerado “madeira para os pobres” (HUANG e SUN, 2021).

A partir de tecnologias modernas e melhoramentos no processamento dos materiais, a indústria conseguiu melhorar o desempenho do bambu e disponibilizar opções industrializados dessa planta. Dentre eles, estão painéis, placas de esteira, aglomerados, OSB¹, folha laminada, compósitos combinando bambu com outros materiais, como madeira, aço, plástico, concreto e outros (HUANG e SUN, 2021). São inúmeras opções e possibilidades de uso do material, além da própria construção civil.

A experiência adquirida em construções civis demonstra que o bambu pode ser considerado um material sustentável capaz de substituir a madeira em muitos elementos construtivos com funções estruturais, segundo Bambi *et al.* (2019). Analisando a produção

¹ Sigla para *Oriented Strand Board*, que significa Painel de Tiras de Madeira Orientadas.

anual, o bambu tem maior porcentagem do que a madeira. Os autores ainda afirmam que, dadas as vantagens em relação à madeira, deve-se ressaltar que um dos limites do bambu diz respeito à sua durabilidade natural. Em comparação à madeira, o bambu pode ser mais vulnerável à deterioração, devido à ausência de elementos químicos protetores, além da presença de uma seção vazada, que favorece a colonização de diferentes patógenos capazes de deteriorar a estrutura do bambu (BAMBI *et al.*, 2019).

Apesar do uso em construções ser frequente, pouco se sabe sobre as propriedades térmicas do bambu, quando aplicado como material construtivo. Bruges *et al.* (2018) e Dahlan e Ghaffarianhoseini (2016) destacam a dificuldade de encontrar literatura sobre o comportamento térmico do bambu para estudos de conforto térmico. Desse modo, investigar o que já existe e organizar as informações técnicas, orientações, propriedades térmicas e resultados de estudos de desempenho térmico do bambu, é importante para orientar pesquisas nesta área.

Dessa forma, o presente capítulo busca apresentar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) em um recorte temporal de 30 anos (2021-1991), com objetivo de identificar e sintetizar a literatura existente sobre desempenho térmico do bambu quando aplicado na construção civil, de modo a contribuir para discussão e análise do uso deste material em componentes da edificação, sob o viés do conforto térmico.

Os procedimentos metodológicos adotados para a RSL foram realizados em três etapas, semelhantes aos adotados por Perillo, Campos, Abreu-Harbich (2017): planejamento, condução e documentação.

Etapa 1: Planejamento

Nessa primeira etapa, foram definidos a questão principal da pesquisa, o quadro conceitual, a seleção da base de dados e a formulação de um conjunto de caracteres “*strings*”.

A seleção das bases de dados se baseou naquelas disponibilizadas pelos convênios CAPES/CNPq. A pesquisa foi realizada nas seguintes bases internacionais da *Scopus* e *Web Of Science*, *databases* que abrangem publicações interdisciplinares de todo o mundo nas áreas de Ciências, Tecnologia, Medicina, Ciências Sociais, Artes, Humanidades etc. Como ambas se trata de sistemas indexadores, ou seja, são definidos apenas pela análise realizada por *software*, foram definidas as seguintes *strings* de busca:

Na base de dados *Scopus*: (TITLE-ABS-KEY (bamboo) AND TITLE-ABS-KEY ((thermal AND performance) OR comfort OR (indoor AND thermal AND environment)) AND TITLE-ABS-KEY (building* OR vernacular OR (construction AND material) OR

(construction AND materials))) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp")). Limitando-se a artigos publicados em periódicos e conferências, a busca resultou em 85 documentos. Na base de dados *Web of Science*: bamboo (All Fields) and "thermal performance" OR comfort OR "indoor thermal environment" (All Fields) and building* OR vernacular OR "construction material" OR "construction materials" (All Fields) and Articles or Proceedings Papers (Document Types). Limitando-se a artigos publicados em periódicos e conferências, a busca resultou em 28 documentos, totalizando 113 documentos.

Etapa 2: Condução

Essa etapa foi definida por uma estrutura conceitual e um protocolo de busca. Para isso, se fez necessário uma filtragem dos artigos, encontrados a partir da leitura do título e dos resumos com auxílio da plataforma *online Rayyan*, aplicativo da Web desenvolvido pelo QCRI (*Qatar Computing Research Institute*). O Quadro 1 sintetiza o protocolo de busca, resumindo as etapas adotadas durante o processo de mapeamento da literatura. Após aplicação do protocolo de busca, se iniciou a etapa de Revisão Sistemática da Literatura.

Quadro 1 - Protocolo utilizado para o mapeamento sistemático

Protocolo de busca	
Estrutura conceitual	Encontrar métodos para analisar o desempenho térmico do bambu na construção civil.
Contexto	Buscas de pesquisas que utilizam o bambu em protótipos, células-teste ou em laboratórios.
Horizonte	Toda a literatura disponível
Idiomas	Inglês, Mandarim e Espanhol
Questão da revisão	Qual o desempenho térmico do bambu na construção civil?
Estratégia	Agregativa
Critérios de exclusão	Documentos que não apresentam propriedades térmicas do bambu e documentos que mostram o bambu não utilizado como material construtivo.
Critérios de inclusão	Propriedades térmicas do bambu com finalidade no conforto térmico do usuário.

Fonte: Adaptado pelo autor, Perillo, Campos, Abreu-Harbach (2017)

Com o auxílio do *Rayyan*, 46 documentos foram selecionados para análise da revisão. Desses, 30 foram da base de dados da *Scopus* e 16 da *Web of Science* (WOS). De acordo com os resultados encontrados, logo após a filtragem realizadas pelo *Rayyan*, foi possível encontrar 67 documentos que foram excluídos seguindo alguns critérios. O Quadro 2 demonstra o resumo dos resultados da RSL, juntamente com os critérios de exclusão.

Quadro 2 - Resultado da análise e critérios de exclusão

Processo	Scopus	Web of Science	Total
Busca	85	28	113
Artigos duplicados	15	11	26
Documentos de anais, informando apenas dados gerais do evento da conferência	26	0	26
Artigos que apresentaram ausência das propriedades térmicas do bambu	4	4	8
Artigos que não apresentaram o bambu como material construtivo	6	1	7

Fonte: autor, 2023

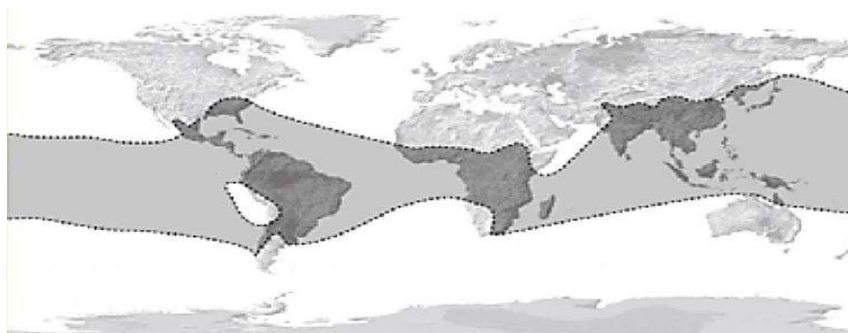
Etapas 3: Documentação

As publicações relevantes foram lidas, analisadas e suas informações cruzadas, a fim de identificar tendências e limitações na utilização do bambu como elemento construtivo, com foco em seu desempenho térmico em edificações.

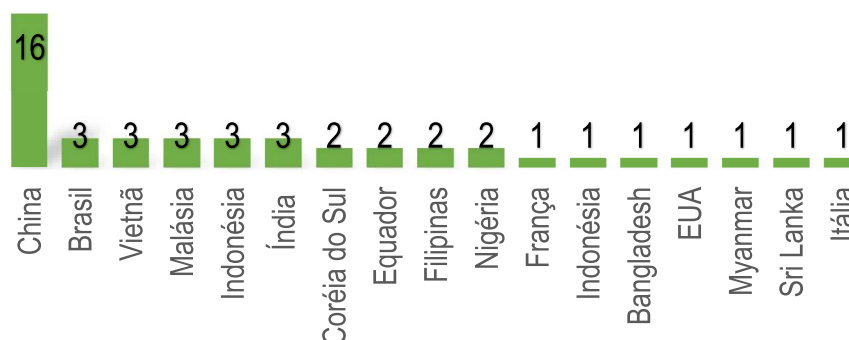
2.1 Trabalhos relevantes sobre a temática

Foram encontradas 113 publicações, que continham os três termos selecionados. Dessas publicações encontradas, 46 foram considerados relevantes para os objetivos deste trabalho, conforme os critérios definidos na Etapa 3 da Seção 3 (Metodologia).

A maior parte das publicações são de estudos realizados no continente asiático (Figura 2), onde a utilização do bambu nas construções faz parte da arquitetura vernacular. Poucos foram os trabalhos encontrados em outros locais - Bruges *et al.* (2018) realizaram um estudo no Equador -, embora espécies de bambu sejam encontradas na Ásia, África e América, como mostra a Figura 1 e 2 (HUANG e SUN, 2021; VAN DER LUGT e VOGTLANDER, 2015).

Figura 1 - Áreas de cultivo de bambu ao redor do mundo

Fonte: VAN DER LUGT E VOGTLANDER, 2015

Figura 2 - Gráfico do número de artigos e os seus respectivos países onde foram elaborados

Fonte: autor, 2023

O bambu é um material ainda pouco explorado diante das suas possibilidades de utilização e sua ampla distribuição ao redor do mundo. Para a utilização do bambu em larga escala como material construtivo em áreas onde a espécie não é cultivada, países europeus por exemplo, é importante considerar o transporte do material, seus custos e comparar com materiais tradicionais para verificar a viabilidade econômica e de sustentabilidade do bambu (NANDAPALA e HALWATURA, 2021).

Dentre os resultados e informações descritas sobre o bambu como material construtivo encontrados nas publicações, agrupou-se alguns dados apresentados nas categorias: o desempenho térmico do bambu aplicado em elementos construtivos e componentes em edificações, métodos usados para análise do desempenho térmico do bambu na construção civil, e as tendências e limitações do bambu na construção civil.

2.1.1 O desempenho térmico do bambu aplicado em elementos construtivos e componentes em edificações

Os resultados de pesquisas sobre o desempenho e propriedades térmicas do bambu são bastantes distintos e abrangem tanto estudos do bambu em diferentes formas (caule inteiro, placas de feixes laminados, placas de partículas etc.) quanto elementos de bambu associados à parede de tijolos, cobertura de concreto, etc.

2.1.2 O bambu em habitações tradicionais e estratégias bioclimáticas

Ainda foi possível encontrar o estudo do bambu em habitações tradicionalmente vernaculares, associadas as estratégias bioclimáticas para minimizar o desconforto térmico no

interior dessas edificações tradicionais. Autores como Victoria, *et al.* (2017) e Murakawa, *et al.* (2003), Xu e Yang (2021), Párraga e Couret (2018), Khan e Rashid (2010), GAVIETA (1991), JING e QIU (2018), Akinwolemiwa, *et al.* (2018), Hariyadi, Fukuda e Ma (2017) e Salzer, *et al.* (2017) apresentam que o bambu é um elemento que deve ser considerado, a fim de substituir materiais construtivos já existentes e industrializados.

A fim de entender o contexto do local, Murakawa, *et al.* (2003) explica que existem duas realidades que devem ser avaliadas: a condição econômica de um país e a consciência sobre o natural, no qual a habitação produzida localmente com materiais de construção são mais adequados para sua saúde e adaptados às condições climáticas extremas de suas regiões.

A utilização do bambu, unida a estratégias bioclimáticas, como a ventilação cruzada, pode contribuir com sistema de resfriamento para o interior da edificação. Victoria *et al* (2017) estudaram as tradicionais malocas (habitações tradicionais da Ilha de Bornéu, utilizando bambu, madeira e ferro como elemento construtivo), apontando que essas habitações são algumas das abordagens bioclimáticas para manter o conforto, pois fornecem luz natural desde há muito tempo. A limitação no fornecimento de eletricidade e ausência de ventilação e tecnologias de iluminação fazem com que os construtores das malocas encontrem soluções na manutenção do conforto térmico e forneçam luz do dia para a maloca. Destacando-se, ainda, que o sistema de resfriamento é maior na parte da noite.

O bambu é defendido por Wijaksana, *et al* (2020) como um material com grande potencial para atuar como um melhor meio de resfriamento na absorção e transferência de calor durante o processo de resfriamento. Diante disso, Xu e Yang (2021), Párraga e Couret (2018), Khan e Rashid (2010) afirmam que a o ambiente térmico e úmido interno das habitações de bambu é ligeiramente pior durante o dia e melhor à noite.

Durante o dia a temperatura é mais alta, mas cai rapidamente à noite. A frequência cumulativa da temperatura interna à noite é menor ou igual a 30 °C é o dobro do dia e o conforto é alto. Dia e noite, o desempenho do ambiente térmico é mais consistente com o padrão de vida tradicional das pessoas que saem para trabalhar durante o dia e usam o quarto à noite. (XU E YANG, 2021).

Alguns autores, tais como Ma, *et al* (2021), Guna, *et al* (2019), Yang, *et al* (2019) e Lee, *et al* (2019), destacam que materiais renováveis de base biológica, a exemplo do bambu, estão sendo cada vez mais estudados para aplicações internas e externas. Essas construções com bambu promovem diretamente a sustentabilidade e a construção verde. Ma, *et al* (2021) comparou o bambu com o Policloreto de Vinila (PVC), construindo um material de grade feito de bambu (denominado 'grade de bambu'), com material de embalagem no resfriamento de torres.

Os resultados demonstraram que a embalagem da grade de bambu é uma boa alternativa para substituir os existentes materiais de embalagem da grade, como concreto e PVC, que são prejudiciais à saúde humana e ambientes.

2.1.3 O *Scrimber* e fibras do bambu

Alguns autores, como Lv, Wang e Liu (2019), Cui, *et al.* (2018), Stanislas, *et. al* (2021), Akinyemi e Omoniyi (2018), Wang, *et al.* (2019), Nguyen, *et al.* (2018), Mao Nguyen, *et al.* (2018), Grillet, *et al.* (2017), Huang, Sun e Musso (2017a), Inamdar, Patil e Lodam (2019), Nguyen, *et al.* (2018a), estudaram o bambu laminado cruzado (*scrimber* de bambu) e as fibras do bambu, a fim de observarem a obtenção de propriedades térmicas.

Todos eles perceberam a grande capacidade do bambu na transferência de calor em altas temperaturas. Lv, Wang e Liu estudaram o efeito, na transferência de calor, de diferentes espessuras e configurações de parede de *scrimber* de bambu e às placas de espuma. A condutividade térmica da placa *scrimber* de bambu encontrada pelos autores foi de 0,263 W/(mK). Esse valor é menor que o encontrado na maioria dos materiais inorgânicos comuns da construção civil (cerca de 15% menor que a condutividade térmica do concreto armado e 50% do tijolo oco e do concreto leve agregado). A placa de espuma apresentou excelente isolamento térmico com uma condutividade térmica de apenas 0,04 W/(mK), cerca de 15,2% da condutividade térmica do *scrimber* de bambu. Destacaram que as propriedades mecânicas das placas de *scrimber* de bambu têm melhor comportamento que as placas de espuma.

Foram analisados por Huang e Sun (2021), as propriedades de 5 tipos de painéis a base de bambu (Figura 3) e identificaram que o material apresenta maior densidade aparente e menor porosidade aberta, na faixa de 100%-197% e 17%-98%, respectivamente, quando comparado ao valor encontrado na madeira de referência do estudo. O painel de partículas de bambu (*bamboo particleboard* - BSB) apresentou uma condutividade térmica seca e um coeficiente de armazenamento de calor (período de 24h), respectivamente, 68% e 94% menor que a madeira de referência. As demais estruturas analisadas apresentam, em geral, propriedades térmicas mais altas. Segundo os autores, unidades compostas de painéis de partículas de bambu intercaladas apresentam um melhor desempenho geral que estruturas de madeira de mesmas dimensões.

Figura 3 - Cinco diferentes tipologias de painel de bambu

Fonte: Adaptado de HUANG e SUN, 2021

Autores ainda, tais como Huang, Sun e Musso (2019), Wijaksana, *et al.* (2020), Huang e Sun (2021), Nguyen, *et al.* (2018), Mao Nguyen, *et al.* (2018) e Grillet, *et al.* (2017), avaliaram o conforto higrotérmico utilizando o bambu.

Utilizando simulação do desempenho higrotérmico, Huang e Sun (2021) apresentam que, utilizando paredes externas feitas de bambus, a demanda de resfriamento anual total e o pico de resfriamento podem ser reduzidos em até 14%. A combinação dos painéis de esteira de bambu (*bamboo mat board* - BMB) com o painel de partículas apresenta vantagens em relação a produtos encontrados no mercado feitos de madeira, bem como menor custo e exigência técnica. Por isso, eles têm potencial para serem materiais de construção adaptáveis ao clima local e competitivos em relação aos mesmos produtos feitos de madeira no mercado (HUANG e SUN, 2021). Outra possibilidade de painel derivado do bambu é a madeira compensada apresentada por Xiang *et al.* (2012). Segundo os autores, nesse material há a preservação do calor e propriedades de isolamento térmico, pois o material é mais forte que os tradicionais, como concreto armado.

Em se tratando do concreto, autores, como Paiva *et al.* (2021), Ren, *et al.* (2020), estudaram a utilização do bambu em concreto, chegando ao produto de argamassas com bambu em sua composição. Paiva *et al.* (2021) estudaram a densidade aparente e condutividade térmica de argamassas tradicionais e argamassas com partículas de bambu. A densidade aparente e valores de condutividade térmica obtidos para a matriz e argamassas com maior porcentagem de partículas de bambu (9%) foram 1704,13 e 1471,80 kg/m³, e 0,62 e 0,43 W/mK, respectivamente.

Uma grande vantagem do isolamento à base de fibras naturais não é apenas um baixo valor de condutividade térmica, mas também o caráter natural das fibras de entrada. A

possibilidade de substituição da madeira pelo bambu já foi discutida na literatura quanto aos aspectos de material, fonte de matéria prima, custos, desempenho mecânico etc.; porém, a viabilidade quanto ao desempenho higrotérmico ainda não foi completamente estudada, já que se supõe que os materiais construtivos de bambu podem alcançar um melhor desempenho higrotérmico que a madeira (HUANG e SUN, 2021).

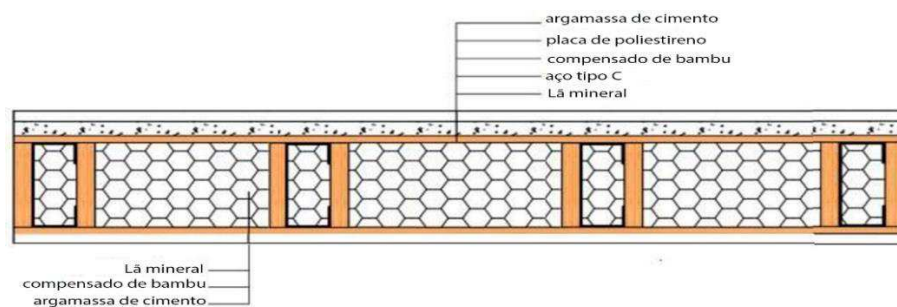
O bambu é um material orgânico higroscópico, portanto suas propriedades higrotérmicas e o desempenho higrotérmico das construções de bambu têm impactos importantes no nível de conforto interno e consumo de energia, e estão intimamente relacionados ao calor interno e estresse de umidade, aos problemas de rachadura, crescimento de mofo e outros danos causados pela umidade (HUANG e SUN, 2021, p. 2, tradução nossa).

2.1.4 Paredes e painéis compostos com bambu

Em grande parte da pesquisa, pode-se encontrar o estudo do bambu em paredes, ou painéis em paredes para minimizar a transferência de calor, por exemplo do ambiente externo para o interno. Autores como, Huang e Sun (2021), Xiang *et al.* (2012), Wijaksana, *et al.* (2020), Xu e Yang (2021), Jamaludin, *et al.* (2021), Shan, *et al.* (2020), Nan, *et al.* (2019), Bambi, *et al.* (2019), Zhou, *et al.* (2019), Demartino, *et al.* (2019), Párraga e Couret (2018), Kandya e Mohan (2018), Li *et al.* (2017) e Sutarja (2014), Bruges *et al.* (2018), Kandya e Mohan (2018), Xiao, *et al.* (2018), Huang, Sun e Musso (2017a) e Elizondo, *et al.* (2009) avaliaram o desempenho térmico de paredes, ou painéis compostos com bambu.

Utilizando uma parede composta de bambu e outros materiais, Shan *et al.* (2020) analisaram, através de medições e simulação computacional, o desempenho térmico de uma parede composta por madeira compensada de bambu, estrutura de aço e preenchimento com lã mineral (camada de isolamento), além de argamassa de cimento e placa de poliestireno na face externa (Figura 4), totalizando 170 mm de espessura. Segundo os autores, essa parede tem peso leve e resistente, devido à madeira compensada e ao aço.

Figura 4 - Composição da parede com bambu, aço, isolante, argamassa e poliestireno



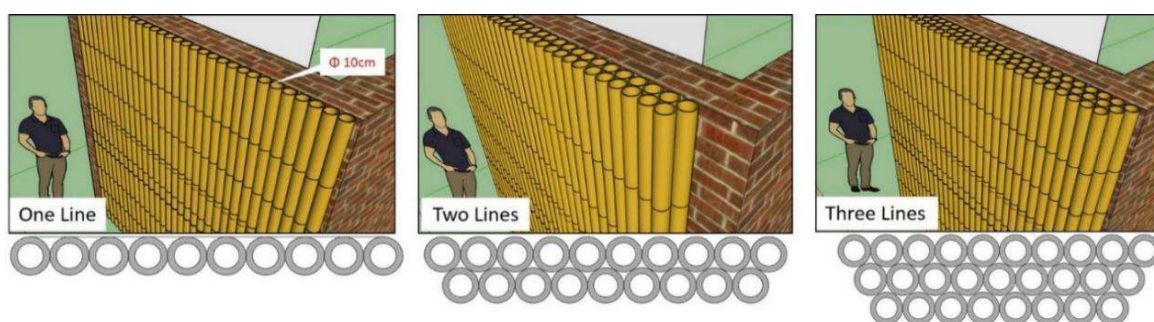
Fonte: SHAN *et al.*, 2020

Os resultados de Shan *et al.* (2021) mostraram que essa parede apresentou melhor desempenho energético em comparação a uma parede de concreto armado. Ela também apresentou grande potencial de aproveitamento para edifícios residenciais, considerando seu desempenho termoenergético simulado para 4 diferentes climas na China (Guanghou - verão quente e inverno quente, Xangai - verão quente e inverno frio, Pequim – região fria; e Harbin - região com frio severo). Essa parede, composta de madeira compensada de bambu, estrutura em perfil de aço, isolamento, argamassa e placa de poliestireno, apresentou o valor de 0,447 W/(m²K) no coeficiente de transferência de calor medido em protótipo e um valor calculado bem próximo, 0,423 W/(m²K). Segundo eles, a resistência térmica calculada para essa tipologia de parede é de 2,216 (m²K)/W.

É possível perceber também que a espessura do componente de bambu é relevante na sua transmitância térmica. Wijaksana, *et al.* (2020) afirmam que a redução da espessura da parede de bambu influencia nos resultados de desempenho térmico, ou seja, um material mais delgado proporcionaria uma melhor transferência de calor e massa para resfriamento evaporativo indireto e semi-indireto.

O comportamento térmico da parede de bambu foi ainda analisado por Bruges *et al.* (2018), a partir de simulação computacional, utilizando dados climáticos da cidade de Guayaquil, Equador. Seus modelos possuíam uma, duas e três camadas de bambu, posicionadas de forma a mitigar a perda de calor e melhor a resistência térmica. A Figura 5 demonstra o esquema das paredes com até três camadas de bambu, a primeira e a segunda fileira de bambu são fixadas em 10 cm de espessura para todos os casos.

Figura 5 - Fachada de bambu com uma, duas e três camadas de bambu, respectivamente



Fonte: BRUGES *et al.*, 2018

Os valores de transmitância térmica obtidos a partir da avaliação numérica e simulação para a camada dupla diferem quase 20% da parede sem o bambu (transmitância térmica de 1,67 W/(m²K) para a parede com camada dupla e 1,34 W/(m²K) para a parede sem o bambu (BRUGES *et al.*, 2018). Os autores ainda comentam que, a partir dos resultados encontrados, é possível comprovar a viabilidade de utilização do bambu como material de construção do

envelope de edificações em regiões quentes. A Tabela 1 apresenta os valores de transmitância térmica (U), resistência térmica (R) e fluxo de calor (W) encontrados por Bruges *et al.* (2018).

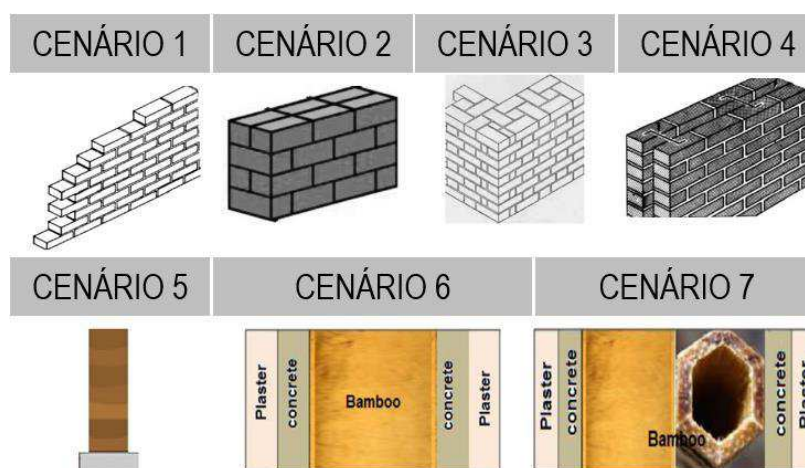
Tabela 1 - Valores obtidos por Bruges *et al.* (2018) para as três camadas de bambu

Camadas	Valor U (W/m ² K)	R (m ² K/W)	Fluxo de Calor (W/m)
Camada Única	2,07	0,48	34,20
Camada Dupla	1,40	0,71	16,09
Camada Tripla	0,67	1,52	9,66

Fonte: Adaptado de BRUGES *et al.*, 2018

A nível de simulação, Kandya e Mohan (2018), simularam sete cenários de paredes, a fim de contribuir no resfriamento de um edifício; para isso, utilizam quatro cenários com paredes constituídos de tijolo comum, aumentando apenas as espessuras, um cenário com parede em terra e dois cenários com paredes compostas com bambu, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Cenários estudados por Kandya e Mohan (2018)



Fonte: Adaptado de Kandya e Mohan (2018), pelo autor (2022)

Conforme Kandya e Mohan, os cenários foram organizados da seguinte forma:

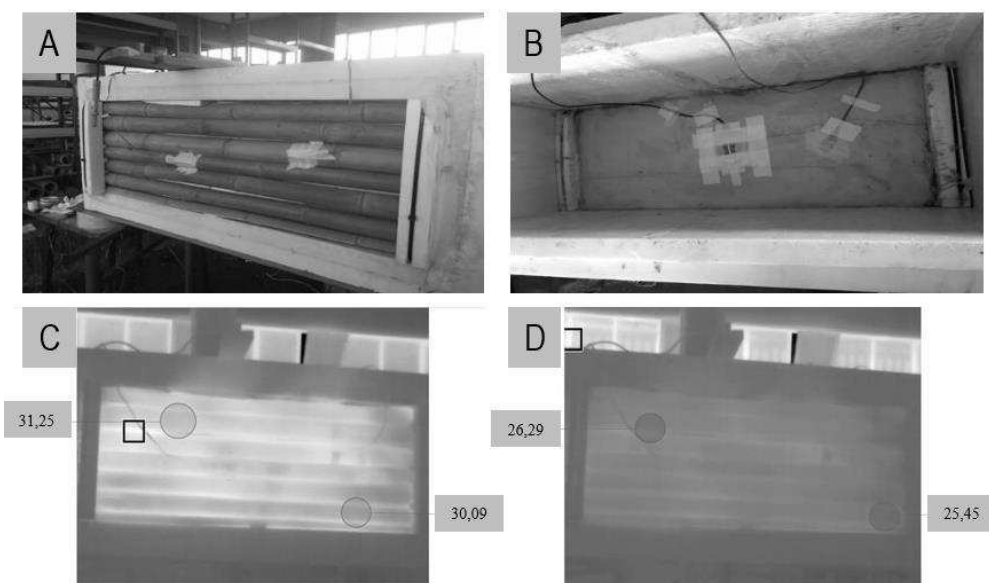
Cenário 1 - Parede de tijolo de 101,6 mm, com 25,4 mm de gesso; Cenário 2 - Parede de tijolos de 203,2mm com 25,4 mm de gesso; Cenário 3 - Parede de tijolos de 304,8 mm com 25,4 mm de gesso; Cenário 4 - Parede de tijolo de 203,2 mm com cavidade de 25,4 mm e gesso de 25,4 mm; Cenário 5 - 300 mm de terra compactada com 25,4 mm de gesso; Cenário 6 - 76,2 mm de bambu completo com 25,4 mm de concreto e gesso de 25,4 mm; Cenário 7 - Camada dupla de bambu completo de 127 mm com 25,4 mm de concreto e gesso de 25,4 mm.

Comparando o cenário 7, do composto de duplo bambu completo com o cenário 1, com alvenaria convencional de uma fiada de tijolo, Kandya e Mohan demonstram uma redução da

temperatura interna de 6,7-6,8% durante a estação do verão, enquanto que a carga de resfriamento anual foi reduzida em 7,3-7,5% comparada com os 4 primeiros cenários com paredes de tijolos.

Resultados sobre o isolamento térmico de paredes utilizando bambus produzidos na região da Toscana (Itália), foram apresentados por Bambi *et al.* (2019). Eles abordaram a sustentabilidade da exploração e a comparação entre uma parede tratada com uma face de bambu e outra com biogesso (Biocalce®) e outra estrutura apenas com o bambu. As paredes foram submetidas a testes experimentais em conformidade com a norma ISO 9869 para o cálculo da transmitância térmica. Os valores encontrados foram comparados com imagens termográficas das estruturas, como apresenta da Figura 7.

Figura 7 - (A) Face externa da parede de bambu com biogesso; (B) Face interna da parede com biogesso gesso; (C) Imagem termográfica da parede sem biogesso e (D) com biogesso



Fonte: BAMBI *et al.*, 2019

Os autores apontaram que a temperatura para a situação sem biogesso (Figura 8c) é maior que na parede com o biogesso (Figura 6d), mostrando que a capacidade de isolamento do bambu isolado é pequena. A parede revestida de biogesso, com transmitância térmica de 1,178 W/(m²K) apresentou um melhor desempenho de isolamento térmico que a parede construída apenas de bambu. Por fim, Bambi *et al.* (2019) destacam que é possível obter melhorias no desempenho de paredes isoladas fabricadas em biogesso com a adição de bambu.

Em uma escala um pouco maior, Jamaludin, *et al.* (2021) analisaram a redução de temperatura dentro de um contêiner metálico com bambu revestido em toda a sua parte interna

(paredes e teto) e piso com compensado e outro contêiner com suas características originais todo em metal. Os autores encontraram uma diferença máxima de temperatura de até 4 °C em relação do contêiner sem o bambu. A Figura 8 mostra os contêineres que foram analisados por meio de um *datalogger* locado no interior deles.

Figura 8 - (A) contêiner sem bambu (B) contêiner revestido internamente com bambu



Fonte: Jamaludin, *et al.* (2021)

2.1.5 O bambu em coberturas

Alguns autores, tais como Almeida e Passini (2017), Nandapala e Halwatura (2021), Elizondo, *et al.* (2009), avaliaram a aplicação do bambu em coberturas. Almeida e Passini compararam o comportamento térmico de diferentes tipos de telhados no estado de Goiás, Brasil, medindo a temperatura da superfície externa e a superfície interna Temperatura ao longo dos dias de coleta, utilizando cinco protótipos: (1) AC - Telhas de fibrocimento, (2) BA - Telhas de bambu, (3) BAP - Telhas de bambu pintadas em branco, (4) FB -Ladrilhos de fibra vegetal e betume, (5) FBP -Ladrilhos de fibra vegetal e betume pintado de branco. As telhas de bambu, associadas à tinta reflexiva na face externa, apresentaram o melhor desempenho térmico entre as coberturas estudadas devido à sua maior inércia térmica (16,3 °C). Em relação a temperatura superficial na face interna da cobertura, observou-se que o melhor resultado foi observado para BAP (10,2 °C / 31,7%), seguido de BA (12,5 °C / 35,0%), sendo uma ótima opção para substituir a telha de fibrocimento.

Nandapala e Halwatura (2021), no Sri Lanka, apresentam resultados de transmitância térmica para uma cobertura de concreto utilizando alguns diferentes materiais de isolamento, dentre eles o bambu (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores de transmitância térmica de materiais de isolamento encontrados por Nadapala e Halwatura (2021)

Caso de isolamento	Valor U (W/m ² K)
Sem isolamento	4,68
Poliestireno	1,03
Bambu transversal	2,48
Telhado verde	0,98
Poliestireno + Telhado verde	0,56
Bambu + Telhado verde	0,82

Fonte: Adaptado de NANDAPALA e HALWATURA, 2021

Comparando coberturas de zinco, bambu e Ijul (fibra vegetal das folhas de *Arenga Pinnata*), Lapisa *et al.* (2020) encontraram temperaturas superficiais mais baixas no telhado de bambu que nas outras coberturas analisadas. Devido sua cor clara (cobertura de bambu) refletir grande quantidade de radiação solar e o bambu ter boa resistência quanto à temperatura, a transmissão do calor por condução da cobertura para o ático foi menor que na cobertura com placa de zinco. A temperatura no ático no telhado com bambu também foi menor (2,65 °C) que na cobertura com zinco. De maneira geral, os autores concluíram que as características isolantes do bambu permitem reduzir o ganho térmico por radiação na cobertura. Esse estudo foi feito para uma região equatorial da Indonésia com clima tropical úmido e para a cobertura de bambu o caule foi cortado ao meio e inserido como telhas.

Analisando a viabilidade e eficiência do bambu, Dahlan e Ghaffarianhoseini (2016) investigaram o método de resfriamento passivo de duas casas utilizando bambu e tijolo nas paredes e ambas com cobertura de zinco. Os resultados sugerem que o uso de bambu e as próprias características vernáculas das residências (palafitas, por exemplo) construídas em terreno montanhoso fornecem permeabilidade ao ar e, por isso, a casa de bambu pode levar a um ambiente interno termicamente confortável, principalmente no período noturna. O estudo demonstra que o bambu como material construtivo possui um papel importante para criar um ambiente interno termicamente tolerável para uma condição climática quente e úmida, funcionando como método de controle passivo em ambientes com velocidade de vento limitada e alta a umidade relativa.

A maioria dos estudos encontrados referem-se, sobretudo, ao comportamento térmico de paredes, poucos abordam a utilização do bambu em coberturas, embora essa estrutura esteja exposta por mais tempo à radiação solar que as paredes e, portanto, tem grande impacto no comportamento da temperatura interna dos ambientes. Além disso, poucos trabalhos envolvem

estudos *in loco* a partir de células-teste, protótipos ou edificações em escala real. Grande parte são estudos em laboratórios.

A partir das informações coletadas nesta temática, é importante destacar que o bambu utilizado isoladamente não apresentou grandes impactos nas propriedades térmicas da envoltória. No entanto, quando associado a outros elementos (parede de tijolo, cobertura e isolamento) o seu impacto é perceptível, chegando a apresentar desempenho comparável à madeira comum e outros materiais de isolamento. Além disso, vê-se a necessidade do aperfeiçoamento de sistemas de vedação com bambu, uma vez que promovem o bom desempenho, além de sua vantagem econômica e biológica.

2.1.6 Métodos usados para análise do desempenho térmico do bambu na construção civil

Muito se tem pensado na melhor forma de analisar o desempenho térmico do bambu. Diante da presente RSL (Revisão Sistemática de Literatura), é possível perceber que grande parte são estudos em laboratórios. A Tabela 3 demonstra a pesquisa experimental com 18 artigos, os demais com 20 artigos realizados em laboratório e 08 em simulação de *software* ou pesquisa de revisão.

Tabela 3 - Métodos de análise do desempenho térmico do bambu na pesquisa e seus respectivos autores e ano de publicação

	MÉTODO	BASE DE DADOS	ANO	TÍTULO EM PORTUGUÊS	LOCAL DO ESTUDO	REFERÊNCIA
1	Realizada em laboratório	WOS	2021	Efeito das fibras de celulose no desempenho físico, mecânico e térmico de materiais extrudados à base de terra	Brasil	Stanislas, <i>et. al.</i> (2021)
2	Realizada em laboratório	SCOPUS	2021	Análise de energia térmica e avaliações de emissões de geé do ciclo de vida de argamassas de gesso inovadoras de bambu à base de terra	Brasil	Paiva, <i>et. al.</i> (2021)
3	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	SCOPUS	2021	Pesquisa sobre ambiente térmico interno e características térmicas de recintos de moradias com parede lamacenta circundada por bambus	China	Xu e Yang (2021)
4	Realizada em laboratório	SCOPUS	2021	Estudo de comparação de desempenho higratérmico em construção de bambu e madeira em áreas de bambu da Ásia-Pacífico	China	Huang e Sun (2021)
5	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	SCOPUS	2021	Viabilidade operacional de um sistema de isolamento de telhado híbrido com bambu e vegetação: Um estudo experimental em condições climáticas tropicais	Sri Lanka	Nandapala e Halwatura(2021)

6	Realizada em laboratório	SCOPUS	2021	Grade de bambu versus cloreto de polivinila como material de embalagem na torre de resfriamento: avaliação de eficiência energética e impacto ambiental	China	Ma, <i>et al.</i> (2021)
7	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	WOS	2021	Espaço habitável confortável: contêiner reluzente e bambu como materiais de construção sustentáveis na perspectiva do clima equatorial?	Malásia	Jamaludin, <i>et al.</i> (2021)
8	Realizada em laboratório	SCOPUS	2020	Uma Visão Geral de Diferentes Sistemas de Resfriamento Evaporativo Indireto e Semi-Indireto para Estudo da Potência do Bambu Sem Pele Nanopore como um Novo Material Poroso de Resfriamento Evaporativo	Indonésia	Wijaksana, <i>et al.</i> (2020)
9	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	WOS	2020	Teste de campo e análise de simulação de desempenho térmico de parede composta de aço de bambu em diferentes regiões climáticas	China	Shan, <i>et al.</i> (2020)
10	Realizada em laboratório	WOS	2020	Compósito à base de cimento com funções de adsorção de umidade e remoção de formaldeído como um material de parede interna	China	Ren, <i>et al.</i> (2020)
11	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	SCOPUS	2020	Análise dos efeitos térmicos do material do telhado na temperatura interna e no conforto térmico	Indonésia	Lapisa, <i>et al.</i> (2020)
12	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	WOS	2019	Avaliação do desempenho térmico de sistemas de parede viva em climas úmidos e frios durante o inverno	China	Nan, <i>et al.</i> (2019)
13	Realizada em laboratório	SCOPUS	2019	Valorização do bagaço da cana-de-açúcar por meio do desenvolvimento de compósitos totalmente biodegradáveis para aplicações industriais	Índia	Guna, <i>et al.</i> (2019)
14	Realizada em laboratório	WOS	2019	Compósitos de argila vermelha biochar para eficiência energética como materiais de construção ecológicos: desempenho térmico e mecânico	Coréia do Sul	Yang, <i>et al.</i> (2019)
15	Realizada em laboratório	SCOPUS	2019	Medições de transmitância térmica de duas paredes de fechamento diferentes construídas com bambu cultivado na Toscana	Itália	Bambi, <i>et al.</i> (2019)
16	Realizada em laboratório	SCOPUS	2019	Comportamento de transferência térmica de compósito de argila inorgânica biochar-natural para isolamento de envelope de construção	Coréia do Sul	Lee, <i>et al.</i> (2019)
17	Realizada em laboratório	SCOPUS	2019	Desempenho térmico e mecânico de compostos unidirecionais de fibras de bambu com frações de volume variáveis	China	Wang, <i>et al.</i> (2019)

18	Realizada em laboratório	SCOPUS	2019	Estudo sobre o desempenho do isolamento térmico da parede de bambu laminado cruzado	China	Lv, Wang e Liu (2019)
19	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	SCOPUS	2019	Desenvolvimento e aplicação de construção modular de parede composta de bambu	China	Zhou, <i>et al.</i> (2019)
20	Realizada em laboratório	SCOPUS	2019	Estudo experimental do desempenho térmico de estruturas leves de bambu e paredes de madeira	China	Demartino, <i>et al.</i> (2019)
21	Simulação ou pesquisa	SCOPUS	2019	Otimização do desempenho higrotérmico no envelope do edifício de bambu na região de clima quente-úmido	China	Huang, Sun e Musso (2019)
22	Simulação ou pesquisa	SCOPUS	2019	Sistema de armazenamento de energia térmica usando bambu em combinação com PCM	Índia	Inamdar, Patil e Lodam (2019)
23	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	SCOPUS	2018	Habitação social em portoviejo. Ambiente térmico interno	Equador	Párraga e Couret (2018)
24	Realizada em laboratório	SCOPUS	2018	Desempenho de isolamento térmico de bambu - e paredes de cisalhamento à base de madeira em edifícios de estrutura leve	China	Xiao, <i>et al.</i> (2018)
25	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	WOS	2018	Estudo experimental sobre o desempenho térmico de scrimber de bambu em temperaturas elevadas	China	Cui, <i>et al.</i> (2018)
26	Realizada em laboratório	WOS	2018	Placas de fibra de bambu e atapulgita: melhora o controle de umidade em edifícios?	França	Nguyen, <i>et al.</i> (2018)
27	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	WOS	2018	O Estudo de Desempenho Térmico de Novas Habitações de Terra Batida na Área Rural de Anji, China	China	JING e QIU (2018)
28	Realizada em laboratório	WOS	2018	Efeito da umidade nas propriedades térmicas de argamassa modificada com polímero acrílico reforçada com fibras de bambu tratadas com álcalis	Nigéria	Akinyemi e Omoniyi (2018)
29	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	SCOPUS	2018	Construindo sistemas verticais de ecologização voltados para a comunidade para pessoas que vivem com menos de £ 1 por dia: um estudo de caso na Nigéria	Nigéria	Akinwolemiwa, <i>et al.</i> (2018)
30	Realizada em laboratório	SCOPUS	2018	Influência das condições de termopressão nos materiais de isolamento de fibras de bambu e cola para ossos à base de proteínas	Vietnã	Nguyen, <i>et al.</i> (2018)
31	Simulação ou pesquisa	SCOPUS	2018	Mitigar o efeito da Ilha de Calor Urbano por meio de modificações na envolvente da construção	Índia	Kandya e Mohan (2018)
32	Simulação ou pesquisa	WOS	2018	Parâmetro de resistência térmica de uma parede multicamadas de bambu	Equador	Bonivento Bruges <i>et al.</i> (2018)
33	Realizada em laboratório	SCOPUS	2018	Materiais de bioisolamento para construção com base em pó de bambu e bio-ligantes	Vietnã	Mao Nguyen, <i>et al.</i> (2018)

34	Realizada em laboratório	SCOPUS	2017	Propriedades higrótérmicas de materiais de construção de bioisolamento com base em fibras de bambu e bio-colas	Vietnã	Grillet, <i>et al.</i> (2017)
35	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	WOS	2017	Abordagem de projeto bioclimático na tradicional maloca Dayak	Malásia	Victoria, <i>et al.</i> (2017)
36	Simulação ou pesquisa	SCOPUS	2017	Desempenho ambiental da habitação social em economias emergentes: avaliação do ciclo de vida de métodos convencionais e alternativos de construção nas Filipinas	Filipinas	Salzer, <i>et al.</i> (2017)
37	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	SCOPUS	2017	Comportamento térmico de materiais alternativos utilizados como cobertura e eficiência da pintura reflexiva na face externa	Brasil	Almeida e Passini (2017)
38	Realizada em laboratório	SCOPUS	2017	Avaliação da aplicação do bambu na envolvente do edifício em comparação com a madeira de referência	China	Huang, Sun e Musso (2017)
39	Simulação ou pesquisa	SCOPUS	2017	A eficácia do design paramétrico 'Sudare' cego como sombreamento externo para eficiência energética e qualidade de visibilidade em Jacarta	Indonésia	Hariyadi, Fukuda e Ma (2017)
40	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	WOS	2017	Desempenho térmico e energético de uma estrutura de parede composta de aço-bambu	China	Li, <i>et al.</i> (2017)
41	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	SCOPUS	2016	Estudo comparativo sobre as respostas térmicas ambientais de bambu indígena e casas de tijolo modernas em clima quente-úmido da Malásia	Malásia	Dahlan e Ghaffarianhoseinj (2016)
42	Simulação ou pesquisa	WOS	2016	A aplicação de parede de tijolo e moldura de concreto armado de bambu para reconstrução de casas tradicionais na vila de Pengotan	Indonésia	Sutarja e Nyoman (2014)
43	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	WOS	2010	O Princípio de Arquitetura Sustentável das Casas Tradicionais de Bambu em Bangladesh	Bangladesh	Khan e Rashid (2010)
44	Simulação ou pesquisa	WOS	2009	Modelagem e validação do desempenho térmico do edifício da casa solar Decathlon da Universidade Santa Clara 2007	Estados Unidos	Elizondo, <i>et al.</i> (2009)
45	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	SCOPUS	2003	Estudo sobre os materiais de construção indígenas de casas tradicionais em Mianmar	Myanmar	Murakawa, <i>et al.</i> (2003)
46	Pesquisa experimental <i>in loco</i>	SCOPUS	1991	Moradia de massa baseada em design tradicional e materiais indígenas para resfriamento passivo no clima tropical urbano das Filipinas	Filipinas	Gavieta (1991)

Fonte: autor, 2023

Diante dessas três formas de pesquisa, todas essas demonstraram que o bambu apresenta um grande potencial como material na construção civil. A exemplo disso, Zhou, *et al.* (2019) afirmam que o desenvolvimento de uma nova parede composta de bambu e sua promoção e aplicação em edifícios fabricados têm perspectivas de mercado importantes e valores ecológicos e sociais.

Algumas pesquisas como Huang e Sun (2021), Zhou, *et al.* (2019) e Párraga e Couret (2018), ao utilizarem a pesquisa experimental unida com os resultados em laboratório ou simulação, apresentaram um resultado mais detalhado. Já Jamaludin, *et al.* (2021) e JING e QIU (2018) utilizaram *datalogger* em sua pesquisa, demonstrando que a diferença de temperatura de um espaço interno utilizando bambu e outro metal pode exceder a 4 °C, e podendo demonstrar com minuciosidade o comportamento térmico horário pelo *datalogger*. Já Elizondo, *et al.* (2009) utilizando apenas a simulação, através do software EnergyPlus, mas também avaliando uma edificação sustentável a partir do design com piso e telhado em que o bambu foi utilizado, observaram que os dados simulados de três dias consecutivos geraram uma validação aceita a nível de conforto térmico segundo os dados climáticos de Santa Clara, na Califórnia.

Por meio da simulação, Bruges *et al.* (2018), notaram que a multicamadas do bambu contribuem para uma boa transmitância térmica podendo chegar a 0,67W/m²K, valorizando o uso de um elemento natural, em relação aos industrializados disponíveis no mercado da construção civil.

As pesquisas realizadas em laboratório possuem resultados em uma grande riqueza de detalhes, bem como por meio da simulação computacional. É possível perceber que o estudo do bambu ainda é recente, por isso os pesquisadores se empenham de diversas formas encontrar a sua eficiência como um material sustentável com capacidade de ser empregado na construção civil.

2.1.7 Tendências e limitações do uso do bambu na construção civil

A utilização do bambu como material de construção sustentável vem sendo discutida e provada na literatura, tanto em países produtores de bambu como em países europeus, embora os custos com transporte também devam ser considerados para esses casos (HUANG e SUN, 2021).

Ding *et al.* (2021) apresentam uma revisão de literatura sobre as técnicas de bambu na construção, utilizando como exemplo o Limpan, um sistema de agrofloresta e habitação rural

que apresenta excelentes exemplos de utilização do bambu como elemento construtivo, refletindo um saber local dos artesãos. Segundo os autores, o bambu é adequado para todas as estruturas que compõem a cobertura, incluindo terças, tábuas e telhas (inseridas acima da estrutura).

Duas dimensões são citadas por Ding *et al.* (2021): entre 3,0 a 3,6m de comprimento e 120 mm de diâmetro, como valores recomendados. Quanto às paredes, Ding *et al.* (2021) citam quatro tipos principais de estrutura com bambu: a parede de bambu exposta (podem ser independentes ou fixas em uma estrutura de alvenaria), parede de argila reforçadas com bambu (bambu como estrutura e esteiras de bambu e argila como acabamento (semelhante à taipa), acabamentos e decoração de alvenaria com bambu e cercas de bambu.

Os autores ainda comentam que melhorar as características dos materiais de construção naturais, como o bambu, e adequá-los às necessidades da arquitetura atual é uma possibilidade para a arquitetura sustentável. E, ao mesmo tempo, preserva as características da arquitetura local, do povo e do material construtivo. Com base nesse ponto de vista, os autores apresentam o aço de bambu, um material composto de bambu (*Neosinocalamu Afins*) e resina fenólica, que apresenta alta resistência, baixa emissão de carbono e resiste às intempéries, melhorando assim as propriedades mecânicas e térmicas que o bambu natural já apresenta. Os produtos do aço de bambu têm dimensões 2500mmx1280mm com diferentes espessuras (12, 25, 35mm etc.) e podem ser utilizados como placas de madeira normais ou como hastes retas ou curvas, permitindo diversidade de usos e formas no projeto (DING *et al.*, 2021). A Tabela 4 apresenta algumas propriedades do aço de bambu.

Tabela 4 - Propriedades do aço de bambu

Propriedade	Índice	Valor
Densidade		1 – 1,4 g/cm ³
Rapidez no clima	Taxa de expansão de espessura após absorção de água circulada por 28h	0,6 %
Proteção ambiental	Emissão de formaldeído	E0 (0,1 mg/L)
Resistência ao fogo		B1
Coefficiente de condutividade de calor	--	0,173 W/mK
Estabilidade estendida	Resistência à compressão ao longo da fibra	≥ 180 Mpa
	Força de extensão ao longo da fibra	≥ 300 Mpa
	Módulo de elasticidade	≥ 30 Mpa

Fonte: DING *et al.*, 2021

Nandapala e Halwatura (2021) compararam o Ciclo de Vida do Desempenho Operacional de materiais de isolamento térmico de coberturas, incluindo o poliestireno, bambu e telhado verde, além da combinação entre eles. Quanto ao consumo de energia, o poliestireno

apresentou uma redução de 12% do consumo anual, em comparação à 8% do isolamento da cobertura feito com bambu. Quando ambos os materiais são combinados com telhado verde, a economia de energia fica no entorno de 13% a 14%. Quanto aos custos no ciclo de vida, o isolamento com bambu tem seu investimento inicial pago em 0,9 anos, enquanto o poliestireno precisa de 1 ano para recuperar o investimento. Huang e Sun (2021) ainda citam que painéis à base de bambu padronizados podem ser substitutos da madeira, uma vez que o material tem vantagens mecânicas devido sua fibra ser mais forte que a maioria das plantas.

2.2 Considerações finais do capítulo

As publicações encontradas na base de dados do *Scopus* (SCOPUS, 2021), que abordam a utilização do bambu na construção civil, suas propriedades físicas e desempenho térmico, apresentam, de maneira geral, um bom desempenho desse material, quando comparado a elementos tradicionais na construção civil.

O estudo do desempenho térmico do bambu aparenta ser temática recente na literatura, pois as datas das publicações mais antigas datam de menos de 10 anos. Os resultados desses trabalhos são bastantes distintos pois englobam tanto estudos de elementos unicamente de bambu ou aplicados em conjunto com outras estruturas da envoltória, como paredes e coberturas. De maneira geral, pode-se inferir que o bambu se apresenta como um sistema construtivo eficiente por suas características físicas, e apresenta um comportamento térmico semelhante à madeira. A utilização de estruturas constituídas unicamente de bambu não conferiu melhorias significativas nas propriedades térmicas das estruturas analisadas pelos autores, porém, quando associado a outros elementos, o seu impacto na transmitância e resistência da estrutura completa é relevante e comparável a outros materiais de isolamento térmico, por exemplo.

Embora a maioria das pesquisas sejam realizadas em países asiáticos, por ser característica da arquitetura vernacular local, a distribuição das florestas de bambu ao redor do mundo mostra a necessidade de estudos nos continentes americano e africano. Vale destacar que a utilização do bambu em áreas em que a espécie não é nativa (Europa, por exemplo) deve ser analisada com critério devido o custo de transporte do material. Outro ponto importante, que se destaca nas publicações analisadas, é o dado que boa parte dessas pesquisas foram feitas em laboratório, poucas utilizaram modelos físicos. Nesse contexto é importante analisar também a aplicação *in loco* dessas estruturas com bambu para verificar seu comportamento e impacto no conforto térmico do usuário.

Por fim, o desenvolvimento de novos materiais à base de bambu é uma alternativa interessante e apresenta resultados promissores para a potencialização das propriedades do bambu associando-o a outros elementos e/ou substâncias que suprem suas deficiências, como é o caso do aço de bambu apresentado por Ding *et al.* (2021).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

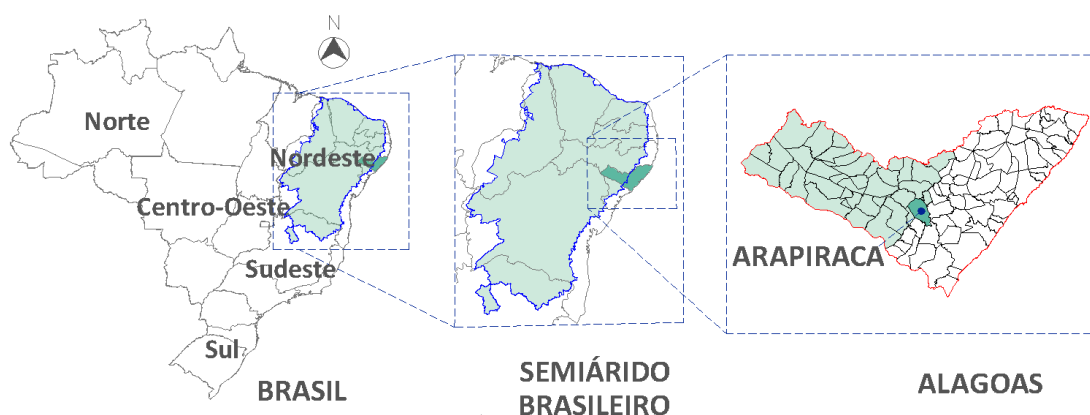
Os procedimentos metodológicos consistiram no monitoramento das temperaturas superficiais da cobertura e subcobertura e da temperatura do ar interno em cinco células-teste instaladas no canteiro experimental localizado no *Campus* Arapiraca da Universidade Federal de Alagoas.

3.1 Caracterização da área de estudo

O semiárido brasileiro apresenta características climáticas hostis, com chuvas irregulares ao longo do tempo e precipitações anuais abaixo de 800 mm, com risco de seca superior a 60%, ocorrendo a cada oito anos (SUDENE, 2017). A região também é caracterizada pela elevada insolação de 2.500 h/ano, com fator ultravioleta variando de 8, no inverno, a 12, no verão (CORRÊA, 2015).

A investigação foi realizada no município de Arapiraca, localizado na mesorregião do Agreste Alagoano, na parte central do Estado de Alagoas, entre a latitude 9°75'25'' Sul e longitude 36°60'11'' Oeste. O município encontra-se na delimitação da região do Semiárido brasileiro com outros 37 municípios do Estado de Alagoas, tomando-se como critérios de classificação a precipitação média igual ou inferior a 800 mm, índice de aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano, conforme as Resoluções nº 107, de 27/07/2017 e de nº 115, de 23/11/2017 (SUDENE, 2017).

Figura 9 - Região semiárida brasileira e semiárido alagoano

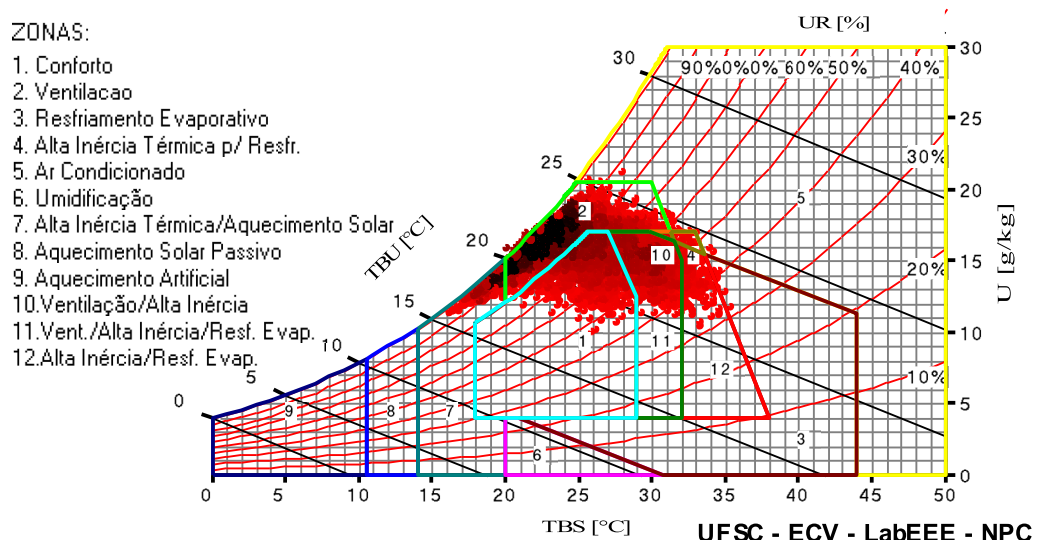


Fonte: autor, 2023

Com base no estudo das características e das variáveis climatológicas locais, Silva (2019) destaca que a cidade de Arapiraca possui um clima composto basicamente de duas estações, que podem ser descritas como: período quente e úmido. A temperatura média mensal

do ar varia entre 22,1°C e 26,5°C, com amplitudes térmicas diárias entre 8°C (meses chuvosos) e 12°C (meses secos). A umidade relativa média do ar varia entre 70% e 80%, atingindo valores menores que 50% no período seco (setembro a abril). A ocorrência de chuvas ao longo do ano é irregular, com um período chuvoso de cinco a seis meses (abril a agosto ou setembro), vindas principalmente da direção sudeste, com precipitação média anual de 890,0mm. Os ventos são oriundos principalmente de leste e sudeste, com velocidade entre 1,6 a 3,4m/s (fraco) e 3,4 a 5,5m/s (bonançoso) (SILVA, 2019). Na Figura 10 e o Quadro 3 mostram estratégias bioclimáticas geradas pelo *software* Analysis Bio para Arapiraca.

Figura 10 - Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis BIO com dados do TRY(2010) para a cidade de Arapiraca-AL



Fonte: Silva, 2017

Quadro 3 - Estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade de Arapiraca - AL

ESTAÇÃO	ESTRATÉGIAS					
	Para calor					Para frio
	Ventilação	Alta inércia térmica para resfriamento	Resfriamento evaporativo	Ar Condic.	Sombreamento	Alta inércia térmica / Aquecimento solar
Primavera	71,50%	24,50%	24,40%	0,05%	96,30%	3,61%
Verão	81,10%	79,40%	28,60%	0,32%	100,00%	0,00%
Outono	91,10%	14,80%	13,90%	0,36%	99,60%	0,27%
Inverno	49,10%	0,23%	0,23%	0,00%	79,30%	20,70%
Ano	73.2%	17.1%	16.7%	0.183%	93.8%	6.18%

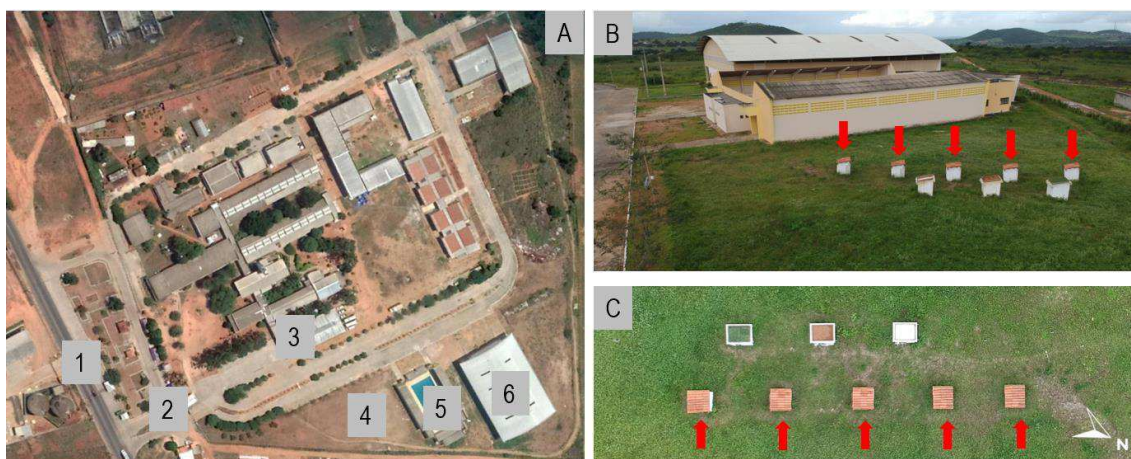
Fonte: Silva, 2017

3.2 Descrição das células-teste

As células-teste foram construídas em canteiro experimental localizado no *Campus* Arapiraca, da Universidade Federal de Alagoas. O canteiro experimental possui oito células-

teste, sendo três com sistema de cobertura em laje de concreto armado e cinco com sistema de cobertura em telha (Figura 11). Para a presente pesquisa foram usadas as cinco células-teste com cobertura em telha.

Figura 11 - (A) Planta de situação e localização das células-teste no Campus Arapiraca, (B) e (C) Localização e seleção das cinco células-teste no canteiro experimental



Legenda:
1 – Av. Manoel Severino Barbosa;
2 – Acesso Principal do Campus;
3 – Bloco das coordenações;

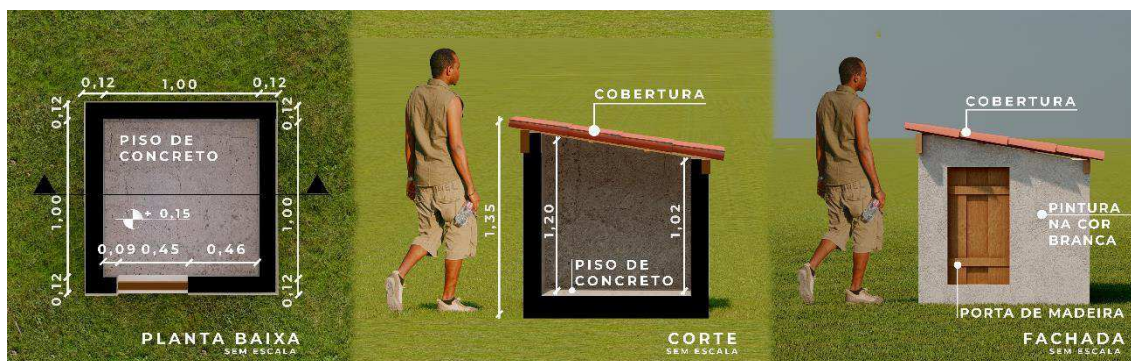
4 - Canteiro experimental;
5 – Piscina semiolímpica;
6 – Quadra poliesportiva;

→ - Células-teste selecionadas para a pesquisa

Fonte: Adaptado de Veiga, 2019

As células-teste foram constituídas em alvenaria de tijolo cerâmico de 6 furos, revestidas em ambos os lados com argamassa de areia e cimento sobre uma fundação radier e piso de concreto. As paredes externas foram pintadas com cal, diferente da parte interna que possui apenas o reboco sem nenhum tipo de pintura, possuindo dimensões externas de 1,30 m x 1,30 m x 1,35 m, com volume interno aproximado de 1 m³ e cobertura com inclinação de 20% orientada para Norte. As portas são em madeira medindo 0,45 m x 0,85 m, voltadas para Leste, sendo a única abertura existente para acesso ao interior da célula-teste (Figura 12). As portas permaneceram fechadas durante todo o período de monitoramento.

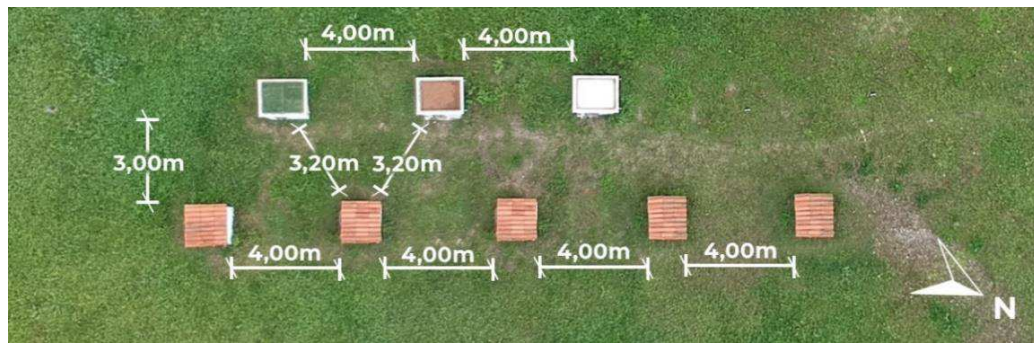
Figura 12 - Projeto da célula-teste sem escala no Campus Arapiraca



Fonte: autor, 2023

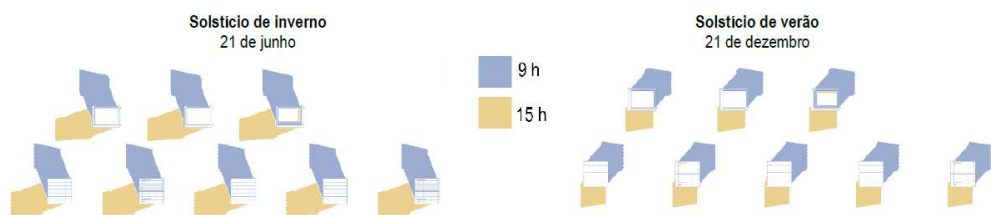
As células-teste estão afastadas uma das outras entre 3,0 m a 4,0 m (Figura 13), a fim de evitar a influência mútua quanto ao sombreamento e incidência de ventilação. Destaca-se que as células-teste recebem insolação direta durante todo o horário do dia, não sofrendo nenhum tipo de influência das edificações em seu entorno.

Figura 13 - Distanciamento entre si das células-teste



Fonte: Adaptado de Veiga, 2019.

Figura 14 - Estudo de insolação das células-teste



Fonte: Silva, 2020

3.3 Etapas da pesquisa

A pesquisa se designou em duas fases experimentais:

Fase 1: Pesquisa experimental utilizando a telha cerâmica capa canal como sistema de cobertura, com forros de bambu e subcobertura de bambu;

Fase 2: Pesquisa experimental utilizando a telha de fibrocimento como sistema de cobertura, com forros de bambu e subcobertura de bambu.

3.4 Materiais da cobertura e da subcobertura

Para a presente pesquisa, foram utilizadas telhas cerâmicas para cobertura e bambu da espécie *Guadua paniculata* – popularmente conhecido por “taboca” – para os sistemas de subcobertura nas células-testes.

O bambu foi adquirido no comércio local em estado bruto em varas de 3,5 m, com diâmetro aproximado de 30 mm. A partir das varas, foram elaborados dois tipos de forro: (a)

com bambu trançado (BT) e (b) com bambu fixado (BF). No modelo do bambu trançado (BT) a vara foi repartida em quatro partes, formando hastes flexíveis para a confecção do forro (Figura 15A). No modelo com bambu fixado (BF), a vara foi repartida ao meio e fixada com barbante de sisal em uma moldura também de bambu ((Figura 15B). Os forros possuíam dimensões de 1,00 m x 1,00 m e receberam duas demãos de verniz incolor, com a finalidade de aumentar a durabilidade do material (Figura 15C).

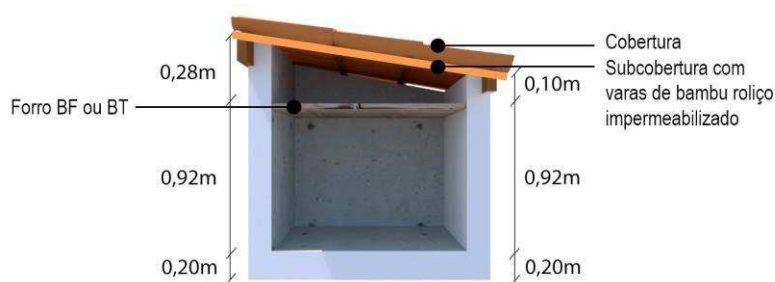
Figura 15 - (A) modelo do bambu trançado – BT, (B) modelo bambu fixado – BF, (C) Processo de envernizamento de um dos forros



Fonte: autor, 2023

Os forros foram instalados nas células-teste paralelamente ao piso a uma altura de 0,92 m, distando 0,10m da cobertura, em seu ponto mais baixo, e 0,28m, em seu ponto mais alto (Figura 16).

Figura 16 - Corte esquemático da célula-teste com forro BT ou BF sem escala



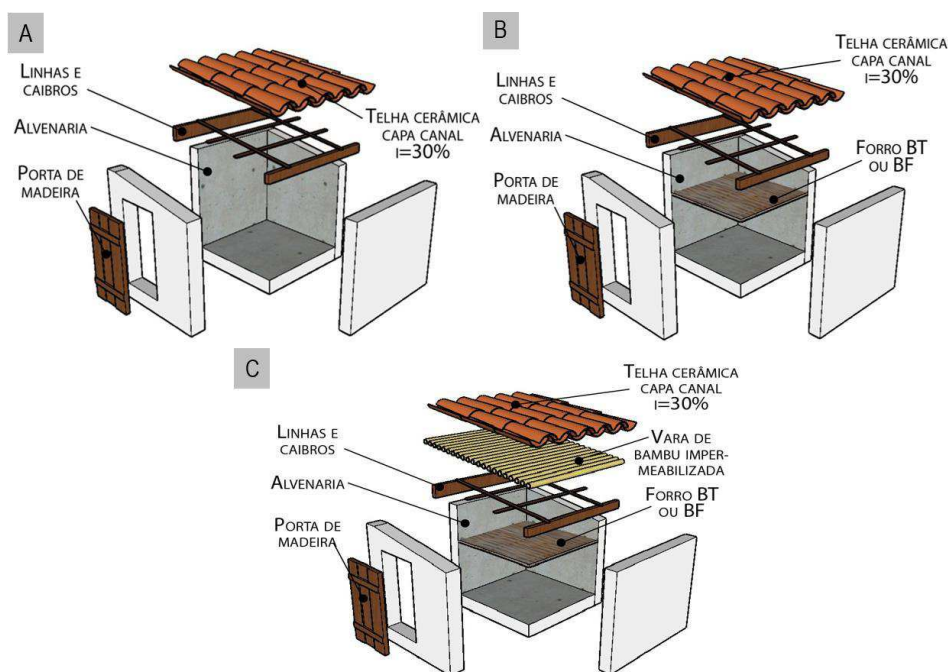
Fonte: autor, 2023

3.5 Sistemas de subcoberturas analisados

Para composição dos sistemas de subcoberturas foram usados os dois modelos de forros em bambu já descritos. Os mesmos foram analisados com três variações: (A) a célula-teste testemunho, apenas servindo de referência, sem forro e sem subcobertura de bambu, (B) apenas utilizando o forro de bambu e (C) forro de bambu combinado com a instalação de uma camada de vara de bambu colocadas entre as ripas da cobertura, em contato com superfície inferior das telhas. Assim, obteve-se quatro sistemas de subcoberturas distintos: (1) forro BT;

(2) forro BT + varas de bambu em contato direto com a cobertura (3) forro BF; e (4) forro BF + varas de bambu em contato direto com a cobertura (Figura 17).

Figura 17 – (A) 01 Célula-teste de referência sem o forro, (B) 02 Células-teste com forro BT ou BF e (C) 02 Célula-teste com forro BT ou BF com varas de taboca em contato com a cobertura



Fonte: autor, 2023

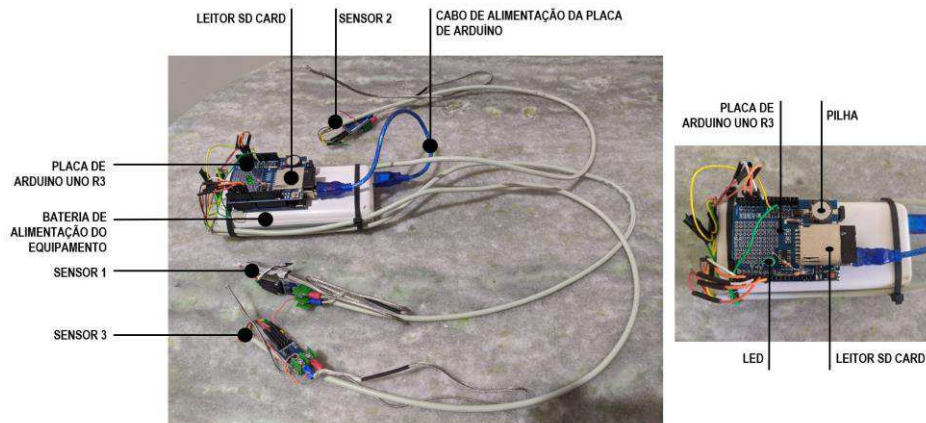
3.6 Monitoramento dos dados de temperatura superficial

O sistema de aquisição de dados utilizados na pesquisa foi desenvolvido pelo Grupo de Física da Matéria Condensada, da Universidade Federal de Alagoas/*Campus* Arapiraca, com uso da plataforma Arduino². O sistema é composto pelo *hardware* com placa compatível Arduino Uno R3 SMD; sensor de temperatura termopar Tipo K com o módulo de leitura Max6675, marca ForteK, que permitem medição de temperatura superficial no intervalo de 0 a 800 °C com precisão de medidas de 1,5%; módulo Shield Data Logger com leitor SD Card que permite o registro contínuo de informações em cartão de memória micro SD sem a necessidade de um computador acoplado; e demais componentes eletrônicos como *led's* e resistores. O *software* foi desenvolvido na própria interface de desenvolvimento do Arduino (IDE). A alimentação elétrica da interface Arduino foi realizada com carregador portátil para celular Power Bank Pineng H'maston 20000mAh, o que permitiu o funcionamento do sistema por vários dias sem a necessidade de intervenção de pessoal. Em cada conjunto foram conectados

² O Arduino é uma plataforma moderna para prototipagem eletrônica de *hardware* livre. A plataforma Arduino é de baixo custo e implementação fácil. É programada com linguagem C++. Existem vários módulos disponíveis comercialmente que podem ser acoplados a plataforma Arduino para finalidades específicas.

três sensores de temperatura (Figura 18). O conjunto foi alocado em um *box* plástico a fim de facilitar a locomoção do equipamento e proteção contra possíveis respingos d'água no interior das células-teste em caso de chuva.

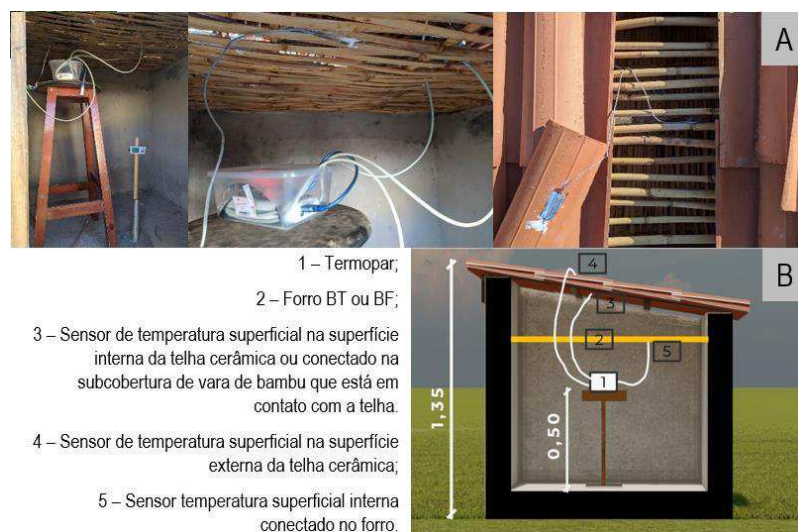
Figura 18 - Termopar (Equipamento de temperatura superficial)



Fonte: autor, 2023

O conjunto de três termopares foi instalado em cada célula-teste. Os termopares foram usados para registrar (a) temperatura superficial externa da telha, (b) temperatura superficial interna da cobertura ou na subcobertura de bambu e (c) temperatura superficial interna do forro. Com a finalidade de tornar a medida da temperatura superficial mais real possível, foi utilizada pasta térmica para otimizar a transmissão de calor entre o material analisado e o termopar. A Figura 19A demonstra o processo de instalação do equipamento e dos sensores na célula-teste, enquanto a Figura 19B mostra corte esquemático da célula-teste com os sensores conectados nas respectivas superfícies.

Figura 19 - (A) processo de inserção do termopar na célula-teste; (B) Corte esquemático da célula-teste



Fonte: autor, 2023

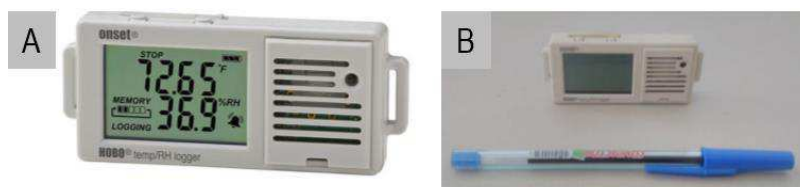
A *interface* Arduino foi programada para realizar as leituras dos sensores de temperatura em intervalo de um segundo, registrando os dados no cartão de memória em um arquivo com extensão “.csv”.

Para a tabulação desses dados que foram registrados a cada segundo, foi necessário realizar a média horária, ou seja, para cada hora foi realizada no *software* Excel a média aritmética dos 3.600 segundos que contêm dentro de uma hora. Logo, os dados horários, que serão levados em consideração na análise dos dados, será a média horária.

3.7 Monitoramento dos dados de temperatura do ar interno

O monitoramento da temperatura do ar no interior das células-teste foi feito com *dataloggers* da marca Hobo®, modelo UX100-003, com acurácia de $\pm 0,21^\circ\text{C}$ de 0° a 50°C e resolução de $0,024^\circ\text{C}$ à 25°C (Figura 20). Os equipamentos foram programados para registrar dados contínuos em intervalos de 60 minutos e instalados no centro geométrico do espaço interno das células-teste, localizados a 50 cm do piso e fixados por suportes de madeira e inserido na parte superior do forro entre a cobertura.

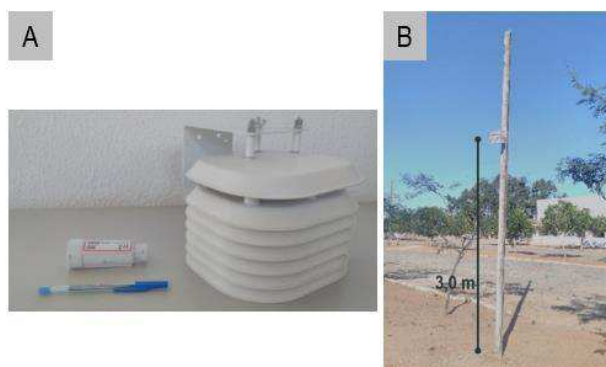
Figura 20 - Datalogger HOB0® UX100-003



Fonte: (A) ONSSET, 2019b; (B) Silva, 2020

3.8 Monitoramento dos dados de temperatura do ar externo

Os dados de temperatura do ar externo foram coletados por *data logger* HOB0® U23-003 da ONSSET® (Figura 21), adaptado para a coleta de variáveis externas protegido da radiação solar direta e precipitação, instalado a 3,0 m do solo, em um poste de concreto distante 17,0 m das células-teste. Ambos os equipamentos foram utilizados para registros contínuo dos valores de temperatura do ar, totalizados em médias horárias, com precisão de $\pm 0,21^\circ\text{C}$ (0°C a 50°C) (ONSET, 2020a; 2020b).

Figura 21 – (A) data logger HOBO® U23-003 da ONSET® (B) Altura do hobo no poste *in loco*

Fonte: Silva, 2020

3.9 Nomenclatura das células-teste

Os tratamentos analisados foram nomeados de acordo com o tipo de subcobertura e forro. Durante a primeira e segunda etapa, as cinco células-teste caracterizaram da seguinte forma:

Tabela 5 - Nomenclatura das células-teste

CÉLULA-TESTE	NOMENCLATURAS	DESCRIÇÃO
1ª ETAPA DA PESQUISA – TELHA CERÂMICA		
CÉLULA 01	S-BF	sem subcobertura com forro de bambu fixado
CÉLULA 02	S-BT	sem subcobertura com forro de bambu trançado
CÉLULA 03	C-BF	com subcobertura de bambu com forro de bambu fixado
CÉLULA 04	C-BT	com subcobertura de bambu com forro de bambu trançado
CÉLULA 05	TESTEMUNHO	sem subcobertura e sem forro
2ª ETAPA DA PESQUISA – TELHA FIBROCIMENTO		
CÉLULA 01	S-BF	sem subcobertura com forro de bambu fixado
CÉLULA 02	S-BT	sem subcobertura com forro de bambu trançado
CÉLULA 03	C-BF	com subcobertura de bambu com forro de bambu fixado
CÉLULA 04	C-BT	com subcobertura de bambu com forro de bambu trançado
CÉLULA 05	TESTEMUNHO	sem subcobertura e sem forro

Fonte: autor, 2023

As análises dos resultados se utilizarão de medidas em temperatura (°C), com descrição de temperaturas máximas, médias e mínimas a fins comparativos entre as células. A temperatura média é encontrada fazendo a média de todo o período analisado, já a temperatura absoluta, é o valor exato da temperatura superficial do material ou do ar em um determinado dia e horário específico.

Será levado em consideração o desvio padrão nas análises. O desvio padrão é uma medida de dispersão do conjunto, ou seja, uma medida que indica quão uniformes são os dados do conjunto.

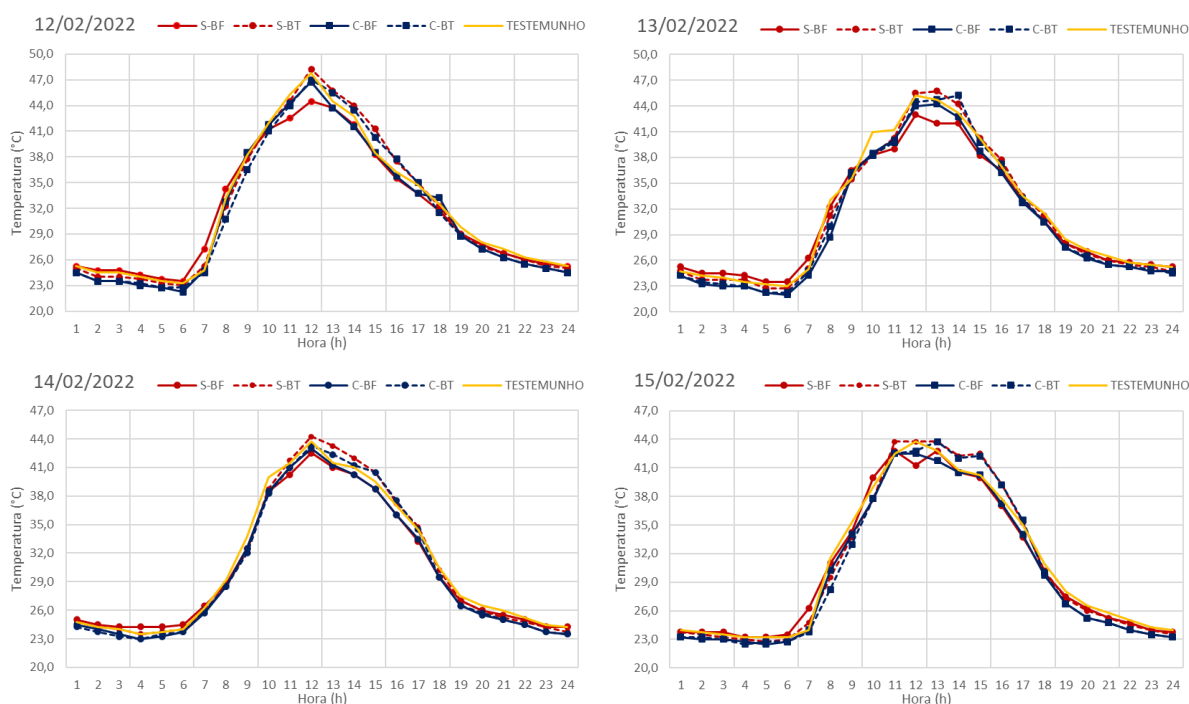
4. ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE FORRO E SUBCOBERTURA DE BAMBU EM COBERTURA DE TELHA CERÂMICA

Neste capítulo será apresentado e discutido os resultados obtidos na primeira etapa da pesquisa, referente ao desempenho térmico do forro e subcobertura de bambu em cobertura com telha cerâmica.

4.1 Temperatura superficial externa

O comportamento das temperaturas superficiais externas nas cinco células-teste monitoradas são apresentados na Figura 22 e os dados de estatística descritiva são apresentados na Tabela 6.

Figura 22 - Comportamento da temperatura superficial externa nas cinco células-teste no período de 12 a 15/02/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 6 - Desvio padrão e valores máximos, mínimos e médios da temperatura superficial externa nas cinco células-teste durante o monitoramento

	S-BF	S-BT	C-BF	C-BT	TESTEMUNHO
Temp. Máx.	44,5	48,3	46,8	47,0	47,8
Temp. Mín.	23,3	22,8	22,0	22,3	23,0
Temp. Méd.	30,8	31,1	30,4	30,7	31,2
σ	6,9	7,9	7,5	7,9	7,5

NOTA:

Temp. Máx. -Temperatura superficial máxima

Temp. Mín. -Temperatura superficial mínima

Temp. Méd. -Temperatura superficial média

σ - desvio padrão

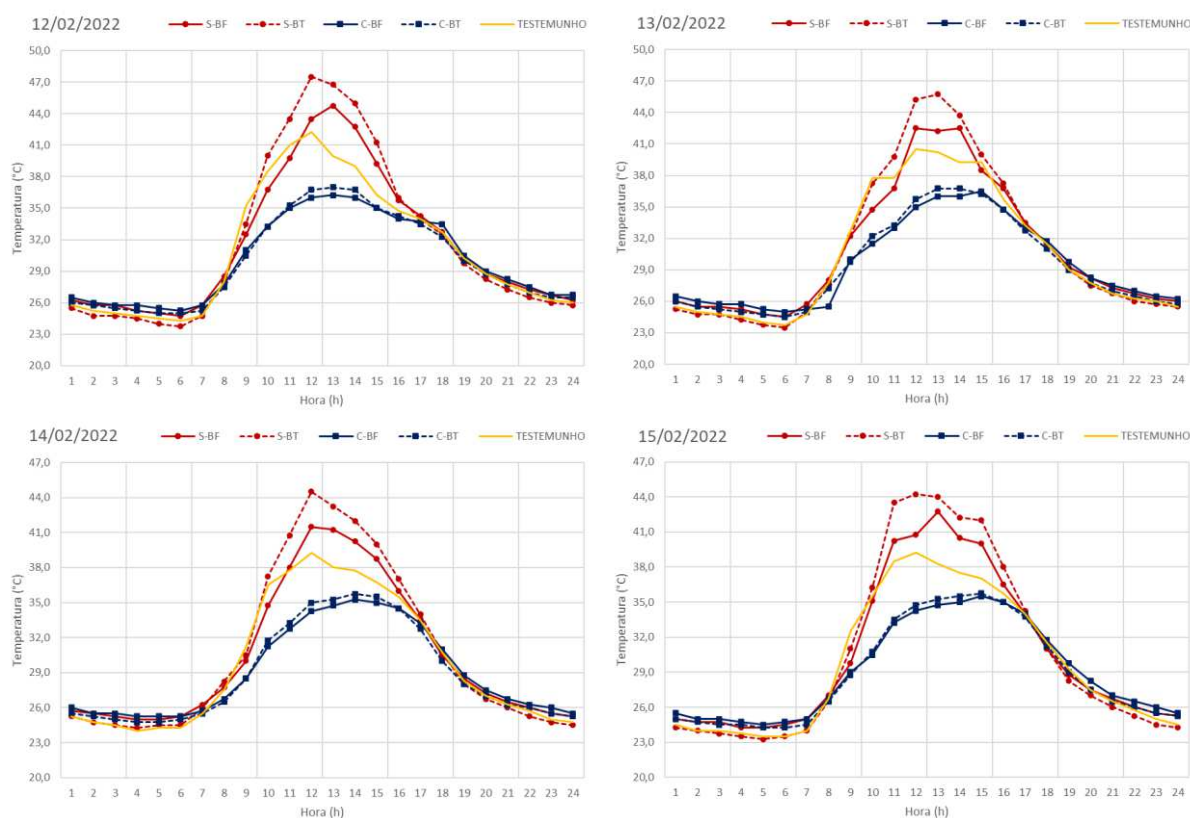
Fonte: autor, 2023

Os resultados obtidos mostraram pouca variação, (de até 1 °C) nos dados relativos à temperatura superficial externa nas cinco células-teste monitoradas, com exceção entre a S-BF e S-BT na temperatura superficial máxima, que chegou a uma diferença máxima de 3,8 °C. Esse resultado era esperado por tratar-se do mesmo material (telha cerâmica) em todas as coberturas, validando os resultados comparativos referentes ao comportamento interno da temperatura, tanto superficial quanto do ar.

4.2 Temperatura superficial na face interna da cobertura ou na subcobertura

O comportamento das temperaturas superficiais internas nas cinco células-teste monitoradas são apresentados na Figura 23. A Tabela 7 sintetiza os dados por meio de estatística descritiva.

Figura 23 - Comportamento da temperatura superficial interna cobertura ou na subcobertura de bambu nas cinco células-teste no período de 12 a 15/02/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 7 - Estatística descritiva da temperatura superficial interna da cobertura ou na subcobertura de bambu nas cinco células-teste durante os dias de monitoramento

		S-BF	S-BT	C-BF	C-BT	Testemunho
Temp. Máx.	Abs.	44,8	47,5	36,5	37,0	42,3
	Méd.	42,8	45,4	35,6	36,2	40,3
Temp. Mín.	Abs.	24,3	23,3	24,5	24,3	23,5
	Méd.	24,8	23,8	25,1	24,7	23,9
Temp. Méd.		30,8	31,1	29,4	29,2	30,2
σ		6,2	7,5	4,0	4,3	5,8

NOTA:

Temp. Máx. -Temperatura superficial máxima

Temp. Mín. -Temperatura superficial mínima

Temp. Méd. -Temperatura superficial média

σ - desvio padrão

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

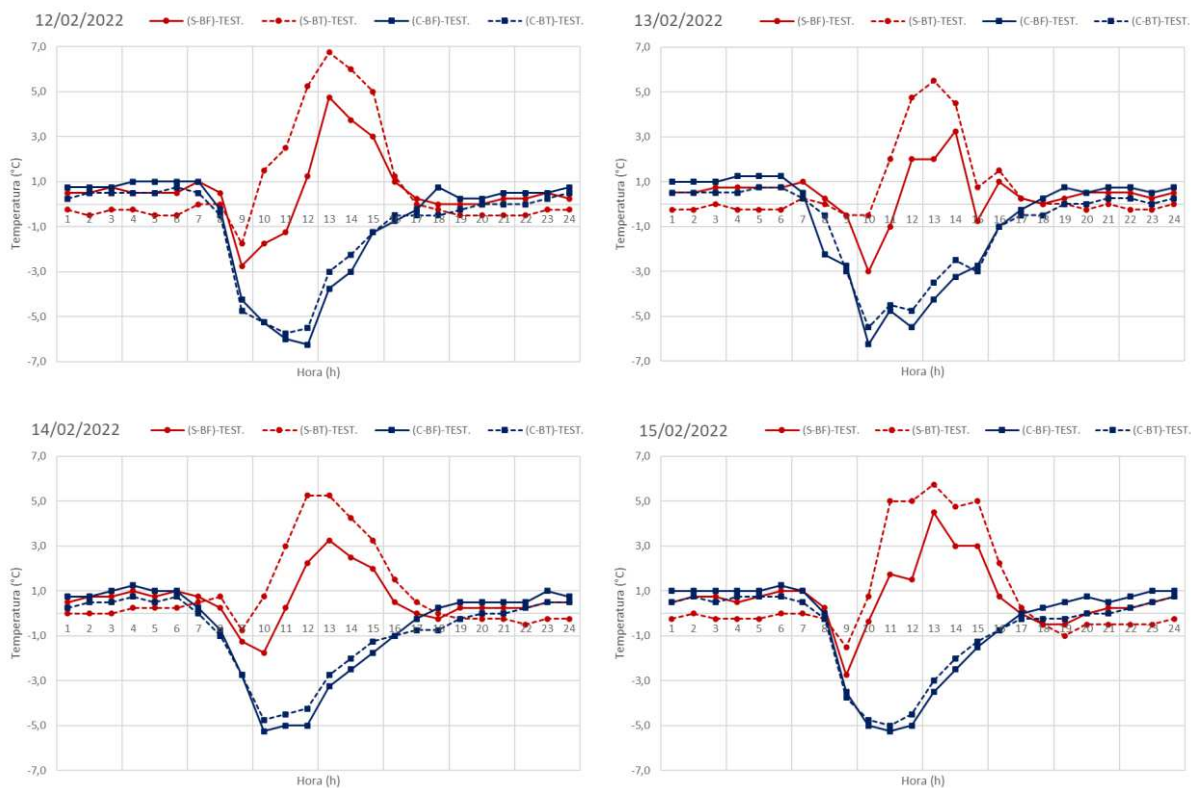
Fonte: autor, 2023

A partir dos resultados obtidos, percebeu-se notável influência do forro e da subcobertura na variabilidade da temperatura superficial na face interna da cobertura, acentuada nos horários de incidência de radiação solar. As células que tiveram apenas aplicação do forro (S-BF e S-BT) apresentaram tendência de maior aquecimento na superfície da face interna da cobertura, chegando a 44,8 °C e 47,5 °C (S-BF e S-BT, respectivamente), no dia 12/02/2022, às 11h e 12h, enquanto a célula-teste testemunho alcançou 42,3 °C, no mesmo horário. Entretanto, a combinação de forro e subcobertura proporcionou redução notável na temperatura da superfície interna da cobertura (1,8 °C). As máximas absolutas registradas foram nas células-teste C-BF (36,5 °C, às 14h no 2º dia) e C-BT (37,0 °C, às 12h do 1º dia).

A análise do valor médio dessa variável também permite afirmar que a combinação do forro com a subcobertura proporcionou menor aquecimento (26,4°C na C-BF e 29,2° C-BT) na superfície interna da cobertura. Cabe destacar que o equipamento de monitoramento dos dados desta variável foi posicionado em contato direto com o bambu nas células-teste C-BF e C-BT, monitorando a temperatura superficial do próprio bambu (subcobertura), enquanto na células-teste S-BF e S-BT, o termopar coletou dados da temperatura superficial interna da telha cerâmica.

A Figura 24 mostra as diferenças horárias da temperatura superficial na face interna da cobertura/subcobertura entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, no período analisado, enquanto a Tabela 8 a análise estatística descritiva.

Figura 24 - Diferenças horárias da temperatura superficial na face interna da cobertura/subcobertura entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, no período de 12 a 15/02/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 8 - Diferenças térmicas absolutas, médias e desvio padrão da temperatura superficial na face interna da cobertura/subcobertura entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho no período de 12 a 15/02/2022

		S-BF		S-BT		C-BF		C-BT	
		Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora
Mín. (resfr.)	Abs.	-3,0	(2, 9h)	-1,8	(1, 8h)	-6,3	(2, 9h)	-5,8	(1, 10h)
	Méd.	-1,8	(8h)	-1,1	(8h)	-5,4	(9h/11h)	-5,1	(9h)
Máx. (aquec.)	Abs.	4,8	(1, 12h)	6,8	(1, 12h)	1,3	(2, 5h)	0,8	(2, 5h)
	Méd.	3,6	(12h)	5,8	(12h)	1,1	(3-5h)	0,8	(5h)
Méd.		0,6		0,9		-0,8		-1,0	
σ		1,2		2,0		2,3		1,9	

NOTA:

S-BF – Célula-teste sem subcobertura com forro fixado;

S-BT – Célula-teste sem subcobertura com forro trançado;

C-BF – Célula-teste com subcobertura com forro fixado;

C-BT – Célula-teste com subcobertura com forro trançado;

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados;

σ - desvio padrão;

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento.

Fonte: autor, 2023

A análise dos dados evidencia variabilidade distinta entre os tratamentos com e sem subcobertura. Nas células-teste sem subcobertura, observou-se que a superfície interna da

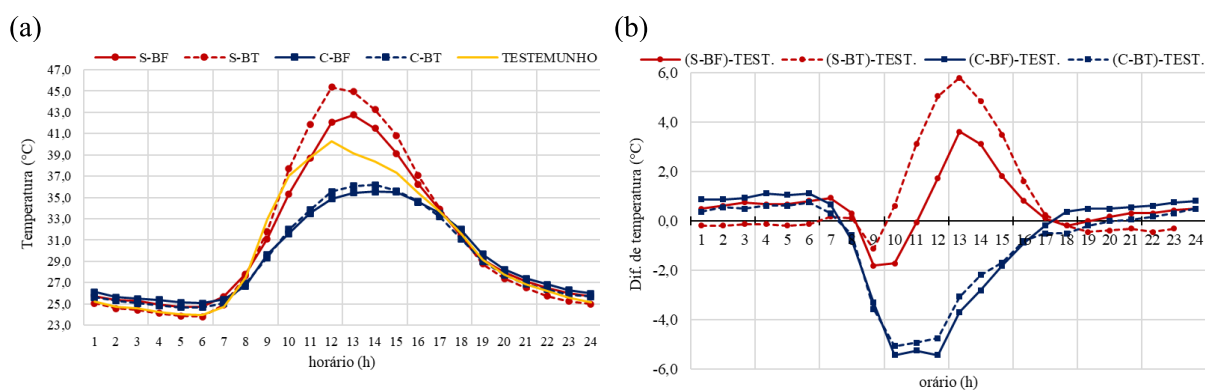
cobertura é menos aquecida no início da manhã, comparado à célula-teste Testemunho. Porém, logo em seguida, houve um intenso aquecimento da superfície interna da telha, alcançando diferenças térmicas médias de 3,6 °C (S-BF) e 5,8 °C (S-BT), ao meio-dia, quando o Sol estava com altura mais elevada. As diferenças térmicas alcançaram 4,8 °C (S-BF) e 6,8 °C (S-BT), em valores absolutos. O comportamento da célula-teste S-BT deve-se, possivelmente, pelo fato de o forro trançado possuir uma malha mais fechada, dificultando a trocar de ar com o volume interno da célula-teste abaixo do forro, formando um bolsão de ar aquecido no ático.

Nas células-teste com subcobertura, observou-se tendência inversa. O maior aquecimento da superfície interna da subcobertura, comparativamente à célula-teste Testemunho, ocorreu próximo ao nascer do Sol. Entretanto, ao incidir radiação solar direta sobre a cobertura, a subcobertura em bambu apresentou tendência de menor aquecimento, com diferenças térmicas médias de 5,4 °C (C-BF) e 5,1 °C (C-BT), próximo às 9h. As diferenças térmicas alcançaram 6,3 °C (C-BF) e 5,8 °C (C-BT), em valores absolutos.

A análise dos valores médios permite afirmar a tendência de maior aquecimento dessa a superfície interna da cobertura nos tratamentos com apenas aplicação dos forros, ao passo que a aplicação combinada de forro e subcobertura tende a reduzir os valores dessa variável.

A Figura 25 apresenta os valores médios horários da temperatura superficial na face interna da cobertura nas células-teste de todo o período analisado e as diferenças médias horários da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho.

Figura 25 - (a) Valores médios horários da temperatura superficial na face interna da cobertura nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho



Fonte: autor, 2023

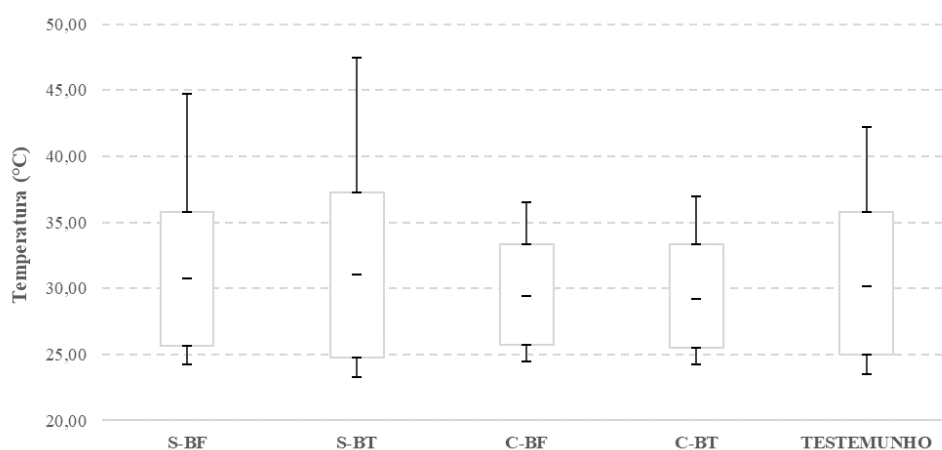
A análise da média horária do comportamento térmico superficial da face interna da cobertura evidencia a tendência de maior aquecimento dessa superfície quando instalado apenas o forro, sendo o mais acentuado com o forro trançado (S-BT), chegando a 45,4 °C, às 11h, enquanto as outras duas células sem subcobertura (S-BF e Testemunho) alcançaram média máxima de 42,8 °C (S-BT, às 12h) e 40,3 °C (Testemunho, às 11h), resultando em diferenças térmicas de 2,6 °C e 5,1 °C, respectivamente.

A mesma tendência de aquecimento do forro trançado foi observada com a aplicação de subcobertura, na qual a temperatura média máxima foi de 36,2 °C (C-BT), enquanto a temperatura média máxima em C-BF foi de 35,6 °C, uma diferença de 0,7 °C, às 13h (horário de maior aquecimento).

Também foi possível observar que a instalação da subcobertura, proporcionou atraso térmico em relação ao horário de maior aquecimento dessa superfície. Nas células sem instalação de subcobertura, o maior aquecimento ocorreu próximo às 11h (S-BT e Testemunho) e ao meio-dia (S-BF), enquanto nas células com subcobertura, o maior aquecimento ocorreu às 13h (C-BF e C-BT).

A Figura 26 apresenta estatística exploratória (*boxplot*) do comportamento da temperatura superficial interna nas cinco célula-teste durante os dias de monitoramento.

Figura 26 - Gráfico boxplot do comportamento térmico da temperatura superficial interna nas cinco células-teste no período de 12 a 15/02/2022



Fonte: autor, 2023

A análise do gráfico mostra haver maior variabilidade na temperatura superficial interna da cobertura com a aplicação do forro trançado sem subcobertura (S-BT), com média superior a célula-teste Testemunho. Os melhores resultados, quanto à essa variável, foram observados nas células-teste com aplicação da subcobertura (C-BF e C-BT).

4.2.1 Influência da subcobertura

A Tabela 9 apresenta as diferenças térmicas entre os tratamentos com o mesmo tipo de forro e variação na subcobertura, com a finalidade de analisar os efeitos térmicos da aplicação da subcobertura na variabilidade da temperatura superficial interna da cobertura.

Tabela 9 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura a partir de análise comparativa entre os tratamentos com o mesmo tipo de forro

		Efeito da instalação da subcobertura							
		Forro Fixado (xF)				Forro Trançado (xT)			
		C-BF	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	S-BT	Valor	Dia/hora
Mín. (resfr.)	Abs.	36,3	44,8	-8,5	(1, 12h)	36,7	47,5	-10,8	(1, 11h)
	Méd.	35,4	42,8	-7,3	(12h)	35,6	45,4	-9,8	(11h)
Máx. (aquec.)	Abs.	29,7	28,7	1,0	(4, 18h)	25,0	23,7	1,3	(1, 5h)
	Méd.	32,0	31,4	0,6	(17h)	24,7	23,8	0,9	(5h)
Méd. σ		-1,4 2,6				-1,8 3,5			

NOTA:

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(xF) – células com ou sem subcobertura com o forro fixado

(xT) - células com ou sem subcobertura com o forro trançado

Fonte: autor, 2023

A análise das diferenças horárias mostra redução média de 7,3 °C, com forro fixado, e 9,8 °C com forro trançado, chegando a 8,5 °C e 10,8 °C, respectivamente, em valores absolutos. Esse resultado pode ser explicado pelos diferentes materiais em que o sensor de temperatura foi instalado (na subcobertura de bambu na C-BF e C-BT e na telha cerâmica na S-BF e S-BT), como mencionado anteriormente.

4.2.2 Influência do tipo de forro

A Tabela 10 mostra as diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura. As diferenças térmicas consideram a substituição do forro fixado pelo forro trançado ($xT - xF$).

Tabela 10 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura

		Efeito do tipo de forro							
		Sem subcobertura (Sx)				Com subcobertura (Cx)			
		S-BT	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	C-BF	Valor	Dia/hora
Mín.	Abs.	23,3	24,3	-1,0	(4, 4h/5h)	32,3	33,5	-1,3	(1, 17h)
(resfr.)	Méd.	24,4	25,3	-0,9	(2h)	31,1	32,0	-0,9	(17h)
Máx.	Abs.	47,5	43,5	4,0	(1, 11h)	27,3	25,5	1,8	(2, 7h)
(aquec.)	Méd.	45,4	42,1	3,3	(11h)	35,6	34,9	0,7	(11h)
Méd.		0,3				-0,2			
σ		1,4				0,4			

NOTA:

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(Sx) – células sem subcobertura, variando apenas o tipo de forro

(Cx) - células com subcobertura, variando apenas o tipo de forro

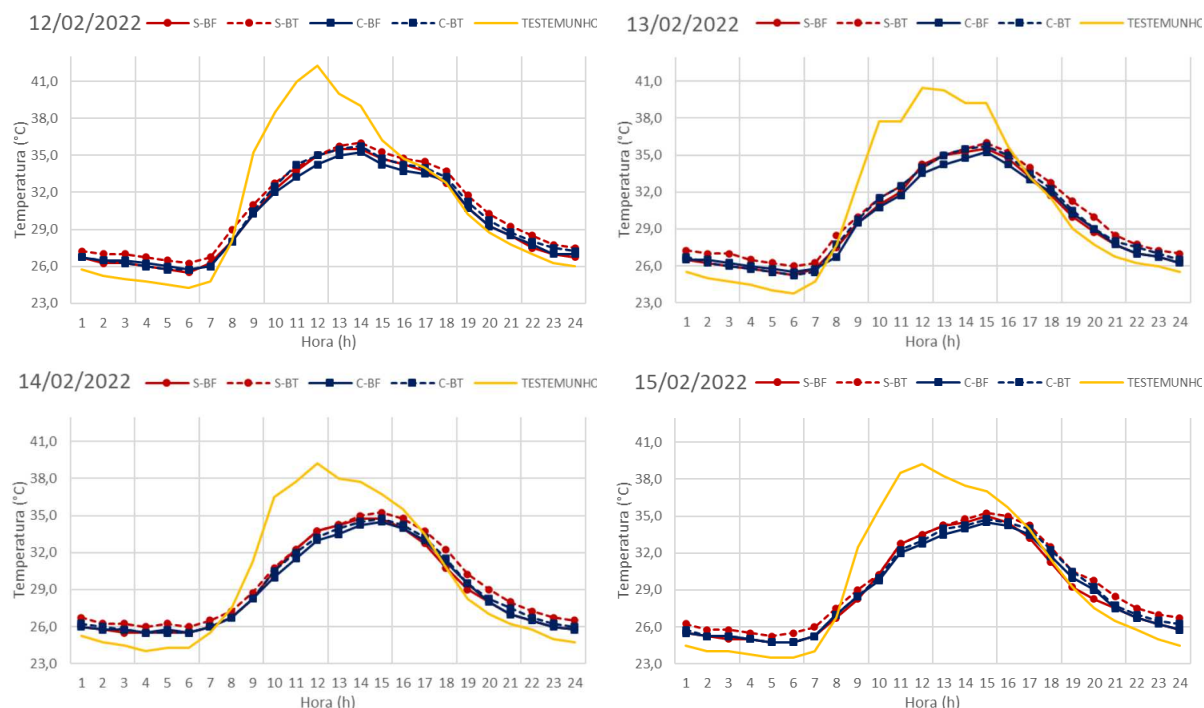
Fonte: autor, 2023

A análise dos dados permitiu observar que houve maior influência do tipo de forro nos tratamentos sem subcobertura, com leve tendência à aquecimento com o forro trançado, na ordem de 4,0 °C. Nos tratamentos com subcobertura, observou-se leve tendência a menor temperatura da superfície interna da subcobertura combinado com o forro trançado, chegando a 1,8 °C.

4.3 Temperatura superficial na face interna do forro

O comportamento das temperaturas superficiais na face interna do forro nas quatro células-teste monitoradas são apresentados na Figura 27 e os dados de estatística descritiva são apresentados na Tabela 11. Foram utilizados dados da temperatura superficial da face interna da telha na célula-teste testemunho, a fim de servir de comparativo com as demais superficiais na face interna do forro da S-BF, S-BT, C-BF e C-BT.

Figura 27 - Comportamento horário da temperatura superficial na face interna do forro nas quatro células-teste no período de 12 a 15/02/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 11 - Valores da temperatura superficial na face interna do forro nas quatro células-teste durante os dias de monitoramento

		S-BF	S-BT	C-BF	C-BT	Testemunho
Temp. Máx.	Abs.	35,5	36,0	35,3	35,8	42,3
	Méd.	35,0	35,4	34,6	35,0	40,3
Temp. Mín.	Abs.	24,8	25,3	24,8	24,8	23,5
	Méd.	25,3	25,9	25,4	25,3	23,9
Temp. Méd.		29,3	30,0	29,2	29,5	30,2
σ		3,6	3,5	3,4	3,6	5,8

NOTA:

Temp. Máx. - Temperatura superficial máxima

Temp. Mín. - Temperatura superficial mínima

Temp. Méd. - Temperatura superficial média

σ - desvio padrão

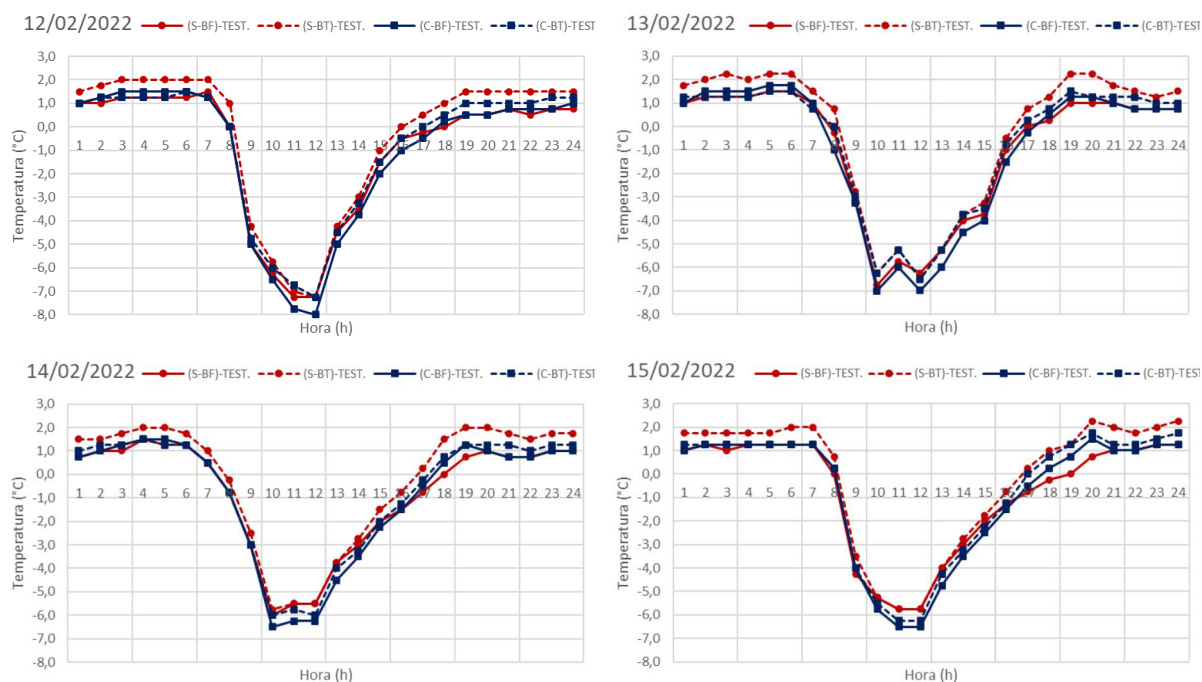
Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

Fonte: autor, 2023

A partir dos resultados obtidos, percebeu-se pouca diferença entre o comportamento da temperatura superficial na face interna do forro. O maior aquecimento foi observado nos forros trançados, chegando a 36,0 °C (S-BT) e 35,8 °C (C-BT), enquanto nos forros fixados a máxima foi de 35,5 °C (S-BF) e 35,3 °C (C-BF). As máximas em todas as células-teste foram registradas às 13h no dia 12/02/2022. A maior diferença térmica foi de apenas 0,7 °C entre as células S-BT e C-BF, no dia 13/02/2022, às 14h.

A Figura 28 mostra as diferenças horárias da temperatura superficial na face interna do forro entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, no período analisado, enquanto a Tabela 12 apresenta uma síntese dessas diferenças.

Figura 28 - Diferenças horárias da temperatura superficial na face interna do forro entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, no período de 12 a 15/02/2022.



Fonte: autor, 2023

Tabela 12 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna do forro entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho no período de 12 a 15/02/2022.

		S-BF		S-BT		C-BF		C-BT	
		Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora
Mín.	Abs.	-7,3	(1, 10h/11h)	-7,3	(1, 11h)	-8,0	(1, 11h)	-7,3	(1, 11h)
(aquec.)	Méd.	-6,2	(11h)	-6,3	(11h)	-6,9	(11h)	-6,5	(11h)
Máx.	Abs.	1,5	(1, 6h)	2,3	(2, 18h)	1,8	(2, 4h/5h)	1,8	(4, 19h)
(resfr.)	Méd.	1,3	(3h às 5h)	2,0	(19h)	1,5	(3h)	1,4	(5h)
Méd.		-0,9		-0,2		-0,9		-0,7	
σ		2,6		2,9		2,9		2,7	

NOTA:

S-BF – Célula-teste sem subcobertura com forro fixado;

S-BT - Célula-teste sem subcobertura com forro trançado;

C-BF - Célula-teste com subcobertura com forro fixado;

C-BT - Célula-teste com subcobertura com forro trançado;

Máx. (aquec.) -Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) -Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. -Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados;

σ - desvio padrão;

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento.

Fonte: autor, 2023

A análise da diferença de temperatura entre os quatro tratamentos com forro e a célula-teste Testemunho mostrou que todos os forros apresentaram desempenho semelhante, com

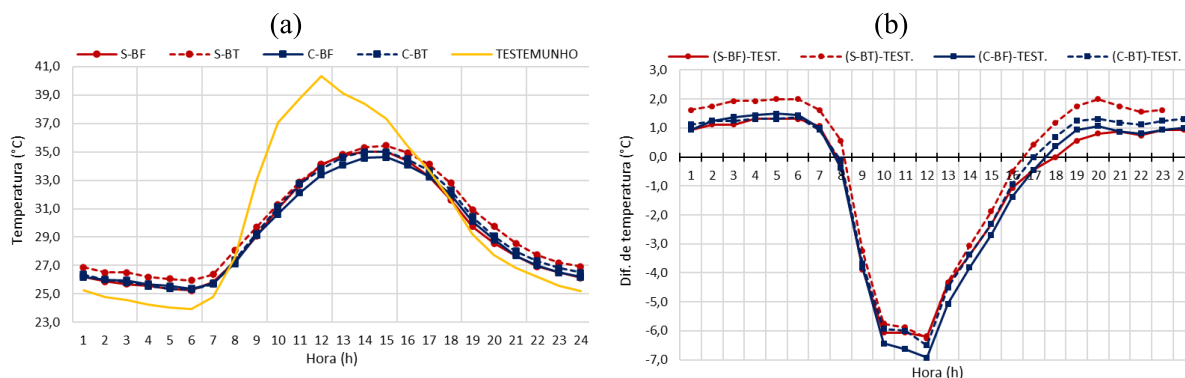
exceção do trançado sem subcobertura (S-BT) que apresentou redução de temperatura superficial menor que os demais (1,3 °C). Esse resultado sugere que o maior aquecimento da superfície do forro S-BT deve-se, provavelmente, à troca térmica por radiação entre o forro e a superfície interna da cobertura dessa célula-teste, apresentando maior temperatura superficial na face inferior da telha nos horários com incidência de radiação solar direta sobre a cobertura, conforme já verificado na seção 3.2. Também foi possível observar que a temperatura superficial interna do forro permanece menos aquecida que a superfície interna da cobertura nos horários diurnos e com diferenças térmicas média em torno de 6,2 °C (S-BF) a 6,9 °C (C-BF), chegando a 8,0 °C (C-BF), em valores absolutos.

Entretanto, nos horários noturnos, a superfície do forro se mantém mais aquecida que a superfície interna da telha cerâmica, com diferenças térmicas média de 1,3 °C (S-BF) a 2,0 °C (S-BT), chegando a 2,3 °C (S-BT), em valores absolutos. Esse resultado sugere que o forro de bambu possui maior capacidade de retenção do calor, com liberação dessa energia no período noturno. Essa estratégia é interessante para localidades de clima tropical de savana, com dias são quentes e noites frias.

A análise comparativa entre as temperaturas superficiais internas dos forros em relação a célula Testemunho mostrou bom desempenho quanto à temperatura na face voltada para o ambiente interno, com redução em torno de 7,3 °C, observadas nos horários próximo ao meio-dia, com exceção da célula-teste com subcobertura e forro fixado (C-BF), na qual a redução térmica chegou a 8,0 °C, no dia 12/02/2022 às 11h. A média diária da diferença térmica ficou próximo à 1 °C nas células-teste com forro fixado. Este resultado evidencia o efeito da instalação de forros de bambu na redução da temperatura superficial da face interna da cobertura. Porém, cabe destacar que a célula-teste sem subcobertura e com forro trançado (S-BT) registrou diferença média diária de apenas 0,2 °C, possivelmente pela formação de um bolsão de ar confinado no ático.

A Figura 29 apresenta os valores médios horários da temperatura superficial na face interna da cobertura nas células-teste no período analisado e as diferenças médias horárias da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho.

Figura 29 - (a) Valores médios horários da temperatura superficial na face interna dos forros nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho



Fonte: autor, 2023

A partir da Figura 29 verificou-se que as temperaturas superficiais dos forros de bambu mantiveram-se mais elevadas do que a superfície interna da cobertura da célula-teste Testemunho durante os horários noturnos e de madrugada, com destaque para a célula-teste sem subcobertura com forro trançado (S-BT), a qual alcançou aquecimento de até 2,0 °C em relação à célula Testemunho. Durante os horários de incidência de radiação solar direta e aumento da temperatura superficial externa da telha, a superfície interna da cobertura da célula Testemunho em contato direto com o ambiente interno sofreu rápido aquecimento, enquanto as temperaturas superficiais dos forros nas demais células-teste mantiveram-se menos aquecidas, já que apresentavam forro. Foi possível observar um atraso térmico médio em torno de 2h e amortecimentos térmicos na ordem de 6,9 °C (C-BF); 6,5 °C (C-BT), 6,3 (S-BT) e 6,2 (S-BF).

A maior diferença térmica média observada entre os forros foi de 1,2 °C, entre as células S-BT e S-BF, no período de 17h a 19h, evidenciando, mais uma vez, a tendência de maior aquecimento superficial do forro trançado.

Observou-se ainda que, a instalação da subcobertura apresentou pouco efeito no comportamento térmico da temperatura superficial interna dos forros, sendo a diferença máxima de 0,4 °C, entre os forros fixados, e 0,1 °C, entre os forros trançados. Dessa forma, verificou-se que a instalação dos forros de bambu resultou em diferenças significativas quanto à sua temperatura superficial direcionada para o interior da célula-teste.

4.3.1 Influência da subcobertura

A Tabela 13 apresenta as diferenças térmicas entre os tratamentos com o mesmo tipo de forro e variação na subcobertura, com a finalidade de analisar os efeitos térmicos da aplicação

da subcobertura e a Figura 30 apresenta estatística exploratória (*boxplot*) do comportamento da temperatura superficial interna do forro nas cinco células-teste durante os dias de monitoramento.

Tabela 13 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna do forro a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de forro

		Efeito da instalação da subcobertura							
		Forro Fixado (xF)				Forro Trançado (xT)			
		C-BF	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	S-BT	Valor	Dia/hora
Mín.	Abs.	31,5	32,3	-0,8	(3, 10h)	26,0	27,0	-1,0	(2, 2h)
(resfr.)	Méd.	33,4	34,1	-0,7	(11h)	25,8	26,5	-0,7	(2h)
Máx.	Abs.	30,0	29,3	0,8	(4, 18h)	34,3	34,0	0,3	(1, 10h)
(aquec.)	Méd.	32,0	31,6	0,4	(17h)	32,8	32,9	-0,1	(10h)
Méd.		-0,1				-0,5			
σ		0,3				0,2			

NOTA:

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

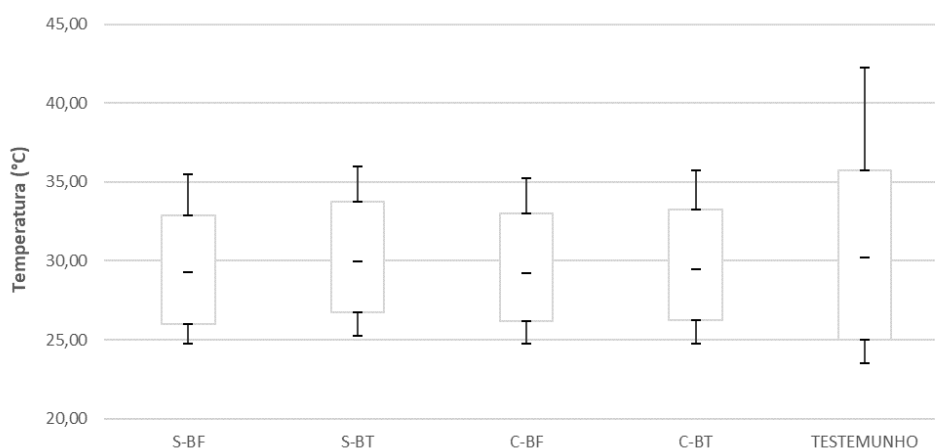
Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(xF) – células com ou sem subcobertura com o forro fixado

(xT) - células com ou sem subcobertura com o forro trançado

Fonte: autor, 2023

Figura 30 - Gráfico boxplot do comportamento térmico da temperatura superficial interna dos forros nas quatro células-teste com forro e da face interna da telha na célula-teste Testemunho no período de 12 a 15/02/2022



Fonte: autor, 2023

A análise da estatística descritiva revela a pouca influência da subcobertura no comportamento da temperatura superficial interna dos forros. A diferença térmica média é de 0,1 °C, entre os forros fixados, e de 0,5 °C entre os forros trançados. A variabilidade foi semelhante entre todos os tratamentos, com exceção da célula-teste Testemunho que apresentou desvio-padrão maior (5,8) que os demais tratamentos por não possuir forro.

A análise dos dados permitiu observar que a aplicação da subcobertura teve pouca influência na variabilidade da temperatura superficial do forro, com média de resfriamento de 0,7 °C, chegando a uma diferença máxima de 1,0 °C no forro trançado, em valores absolutos. A maior influência sobre o forro trançado deve-se, provavelmente, à redução da troca térmica por radiação entre a superfície mais aquecida da face interna da telha e o forro, que possui malha mais fechada.

A análise comparativa entre células com mesmo tipo de forro e a diferença quanto à subcobertura mostrou que, nas células com forro trançado, a diferença térmica chegou a 1,0 °C no início da noite e começo da manhã, estando o forro da célula-teste sem subcobertura mais aquecido. Nas células com forro fixado (S-BF e C-BF) foi observada diferença térmica de até 0,8 °C, estando o forro da célula sem subcobertura (S-BF) mais aquecido nos horários próximos ao meio-dia, enquanto a célula com subcobertura (C-BF) esteve mais aquecida no início da noite, apresentando diferença térmica também de 0,8 °C.

4.3.2 Influência do tipo de forro

A Tabela 14 mostra as diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura. As diferenças térmicas consideram a substituição do forro fixado pelo forro trançado ($x_T - x_F$).

Tabela 14 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna do forro a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura

		Efeito do tipo de forro							
		Sem subcobertura (Sx)				Com subcobertura (Cx)			
		S-BT	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	C-BF	Valor	Dia/hora
Mín.	Abs.	34,0	34,3	-0,3	(2, 11h)	25,3	25,5	-0,3	(2, 5h)
(resfr.)	Méd.	34,1	34,1	-0,1	(11h)	25,4	25,6	-0,2	(4h)
Máx.	Abs.	32,3	30,8	1,5	(3, 17h)	34,3	33,3	1,0	(1, 10h)
(aquec.)	Méd.	32,8	31,6	1,2	(17h)	34,6	34,1	0,6	(12h)
	Méd.	0,6				0,2			
	σ	0,3				0,2			

NOTA:

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(Sx) – células sem subcobertura, variando apenas o tipo de forro

(Cx) - células com subcobertura, variando apenas o tipo de forro

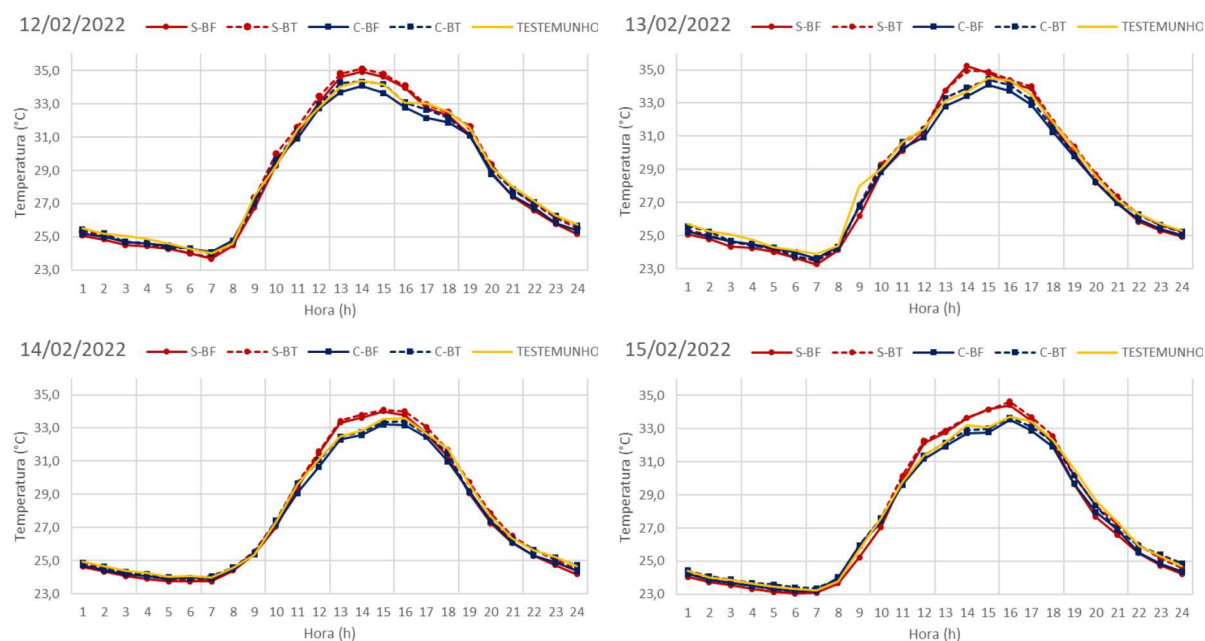
Fonte: autor, 2023

A análise comparativa entre células com mesma condição de subcobertura e diferente tipo de forro mostrou que o forro trançado tende a permanecer mais aquecido do que o forro fixado. A diferença nas células sem subcobertura chegou a 1,5 °C, no final da tarde e início da noite, enquanto nas células com subcobertura esta diferença foi de 1,0 °C durante a manhã. Em ambas as situações, as células-teste com forro trançado apresentaram maior temperatura superficial na parte inferior do forro, possivelmente devido à maior vedação à troca de ar proporcionada pelo trançado do forro.

4.4 Temperatura do ar no ático

O comportamento das temperaturas do ar no ático do forro nas quatro células-teste monitoradas são apresentados na Figura 31. Foram utilizados dados da temperatura superficial da face interna da telha na célula-teste testemunho, a fim de servir de comparativo com as demais superficiais na face interna do forro da S-BF, S-BT, C-BF e C-BT.

Figura 31 - Comportamento da temperatura do ar no ático do forro nas quatro células-teste no período de 12 a 15/02/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 15 - Valores da temperatura do ar no ático nas quatro células-teste durante os dias de monitoramento

		S-BF	S-BT	C-BF	C-BT	Testemunho
Temp. Máx.	Abs.	35,2	35,1	34,1	34,4	-
	Méd.	34,4	34,5	33,4	33,7	-
Temp. Mín.	Abs.	23,0	23,2	23,2	23,4	-
	Méd.	23,4	23,6	23,7	23,7	-
Temp. Méd.		27,9	28,2	27,8	28,0	-
σ		4,0	4,0	3,6	3,7	-

NOTA:

Temp. Máx. - Temperatura superficial máxima
Temp. Mín. - Temperatura superficial mínima
Temp. Méd. - Temperatura superficial média

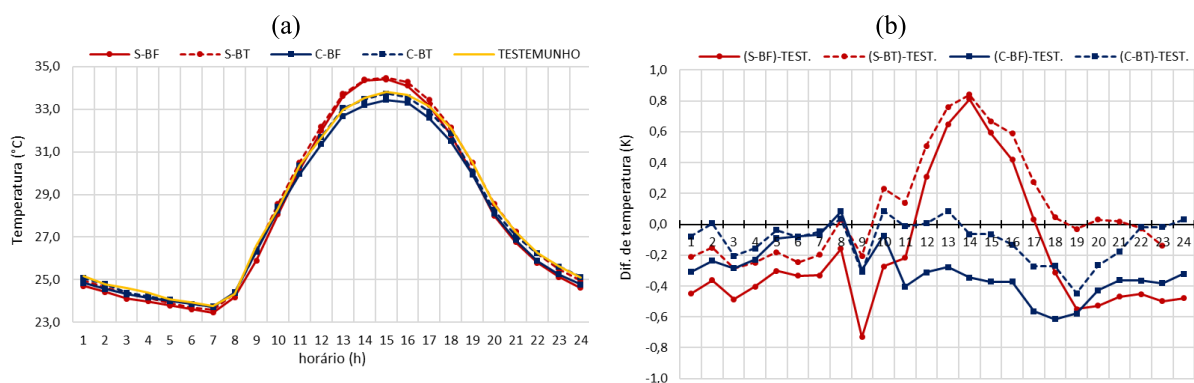
σ - desvio padrão
Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

Fonte: autor, 2023

A partir dos resultados obtidos, percebeu-se que a diferença de temperatura do ar no ático pode variar de acordo com o tipo de forro e a instalação da subcobertura. A célula-teste com forro fixado e sem subcobertura (S-BF) apresentou temperatura do ar máxima de 35,2 °C, às 13h no dia 13/02/2022, enquanto a célula-teste com forro fixado e com subcobertura (C-BF) apresentou a temperatura do ar máxima de 34,1 °C, às 14h, no dia 13/02/2022, com atraso térmico de 1h. Quanto às células-teste com forro trançado, o tratamento sem subcobertura apresentou máxima de 35,1 °C (dia 12/02/2022, às 13h), ao passo que no tratamento com instalação de subcobertura a máxima foi de 34,4 °C (dia 13/02/2022, às 14h). Esse resultado evidenciou que o tipo de forro pouco influenciou nos valores da temperatura do ar no ático, enquanto a instalação da subcobertura proporcionou amortecimento térmico próximo a 1 °C e atraso térmico de 1h.

A Figura 32 apresenta os valores médios horários da temperatura do ar no ático nas células-teste no período analisado e as diferenças médias horárias da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho.

Figura 32 - (a) Valores médios horários da temperatura do ar no ático nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho



Fonte: autor, 2023

A Figura 32 evidencia o maior aquecimento da temperatura do ar no ático nos tratamentos sem subcobertura, independentemente do tipo de forro, nos horários entre 12h e 17h, evidenciando que a instalação da subcobertura proporcionou amortecimento térmico na ordem de 1 °C e atraso térmico de 1h. Nos demais períodos do dia, a diferença térmica foi reduzida.

4.4.1 Influência da subcobertura

A Tabela 16 apresenta as diferenças térmicas entre os tratamentos com o mesmo tipo de forro e variação na subcobertura, com a finalidade de analisar os efeitos térmicos da aplicação da subcobertura na variabilidade da temperatura do ar no ático. A Figura 33 apresenta estatística exploratória (*boxplot*) do comportamento da temperatura do ar no ático nas quatro células-teste durante os dias de monitoramento.

Tabela 16 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar no ático a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de forro

		Efeito da instalação da subcobertura							
		Forro Fixado (xF)				Forro Trançado (xT)			
		C-BF	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	S-BT	Valor	Dia/hora
Mín.	Abs.	33,4	35,2	-1,8	(2, 13h)	32,8	33,8	-1,1	(3, 13h)
(resfr.)	Méd.	33,2	34,4	-1,2	(13h)	33,5	34,4	-0,9	(13h)
Máx.	Abs.	25,9	25,2	0,7	(4, 8h)	24,9	24,6	0,3	(4, 23h)
(aquec.)	Méd.	26,3	25,9	0,4	(8h)	25,1	24,9	0,2	(23h)
Méd.		-0,1				-0,2			
σ		0,5				0,3			

NOTA:

Máx. (aquec.) -Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) -Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. -Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

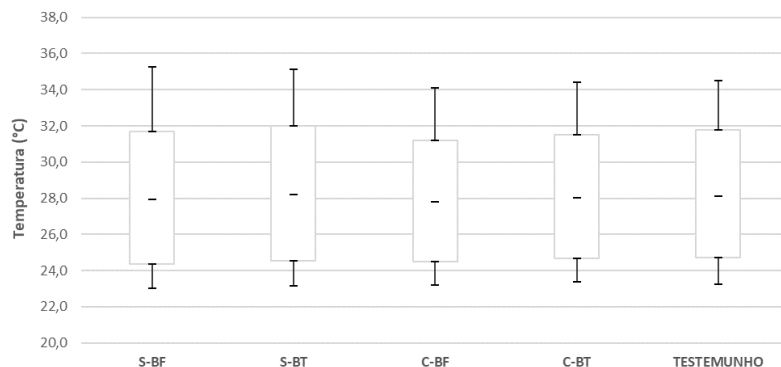
Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(xF) – células com ou sem subcobertura com o forro fixado

(xT) - células com ou sem subcobertura com o forro trançado

Fonte: autor, 2023

Figura 33 - Gráfico boxplot do comportamento térmico da temperatura do ar no ático nas quatro células-teste com forro e do ar interno na célula-teste Testemunho no período de 12 a 15/02/2022



Fonte: autor, 2023

A análise da estatística descritiva evidenciou que a subcobertura apresentou maior influência na temperatura do ar no ático do que o tipo de forro, no período diurno, ao passo que no período noturno os comportamentos térmicos em todos os tratamentos foram semelhantes,

evidenciando não haver influência, seja do tipo de forro, seja da subcobertura. A variabilidade também foi semelhante entre todos os tratamentos, com leve redução no desvio-padrão nos tratamentos com subcobertura, com 0,1.

A análise comparativa entre células com mesmo tipo de forro e diferença quanto à subcobertura mostrou que a instalação da subcobertura proporcionou resfriamento médio de 1,2 °C nos tratamentos com forro fixado, chegando à diferença térmica absoluta de 1,8 °C, no dia 13/02/2022, às 13h. Nos tratamentos com forro trançado, a diferença térmica média foi um pouco menor, de 0,9 °C, com absoluta de 1,1 °C, no dia 14/02/2022, às 13h, e dia 15/02/2022, às 14h. Esse resultado evidenciou que a instalação da subcobertura, ao proporcionar menor aquecimento da superfície abaixo da cobertura, permite menor aquecimento do ar no ático. Além disso, a menor influência da subcobertura no forro trançado deve-se, provavelmente, pelo maior aprisionamento do ar no ático.

No período noturno, a situação se inverte, com os tratamentos com subcobertura mais aquecidos, podendo chegar a 0,7 °C nos forros fixados e apenas 0,3 °C nos forros trançados.

4.4.2 Influência do tipo de forro

A Tabela 17 mostra as diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar no ático a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura. As diferenças térmicas consideram a substituição do forro fixado pelo forro trançado ($x_T - x_F$).

Tabela 17 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar no ático a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura

		Efeito do tipo de forro							
		Sem subcobertura (Sx)				Com subcobertura (Cx)			
		S-BT	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	C-BF	Valor	Dia/hora
Mín.	Abs.	35,0	35,3	-0,3	(2, 13h)	23,9	23,7	-0,2	(2, 5h)
(resfr.)	Méd.	34,4	34,4	0,0	(13h)	23,7	23,7	0,0	(6h)
Máx.	Abs.	30,0	29,3	0,7	(1, 9h)	34,3	33,7	0,6	(1, 12h)
(aquec.)	Méd.	28,6	28,0	0,6	(19h)	33,1	32,7	0,4	(12h)
	Méd.	0,3				0,2			
	σ	0,2				0,1			

NOTA:

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(Sx) – células sem subcobertura, variando apenas o tipo de forro

(Cx) - células com subcobertura, variando apenas o tipo de forro

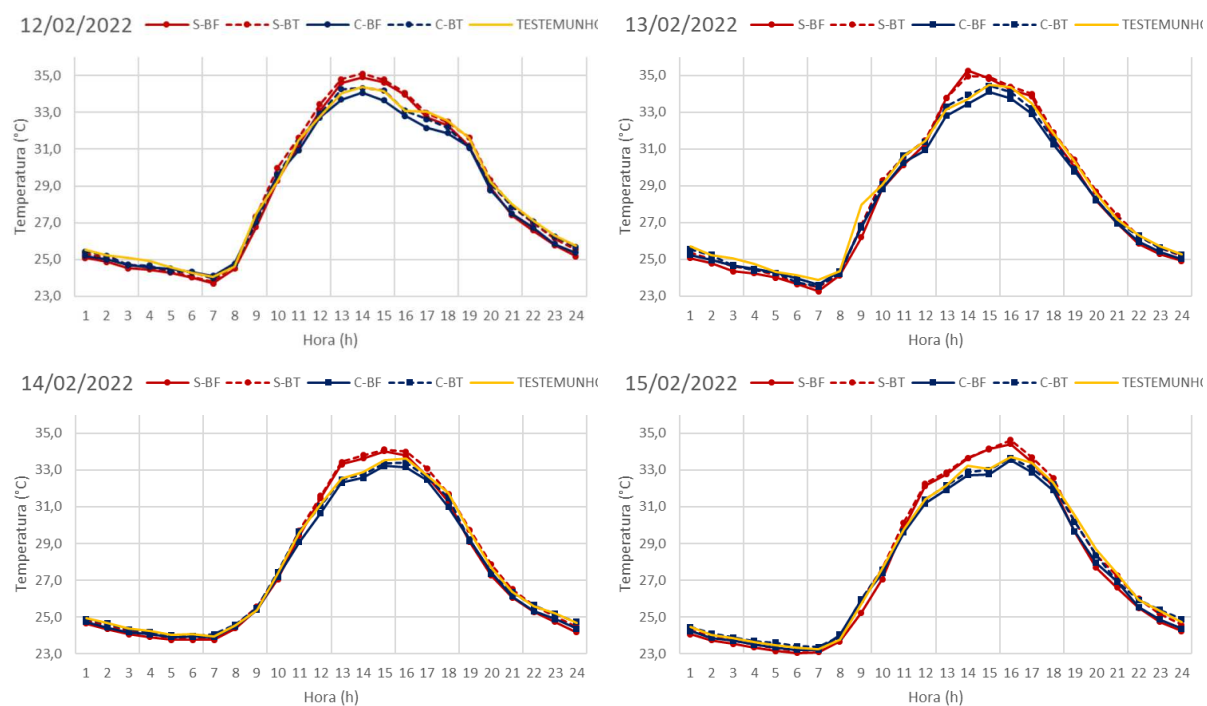
Fonte: autor, 2023

A análise comparativa entre células com mesma condição de subcobertura e diferente tipo de forro mostrou que o tipo de forro pouco influenciou no comportamento da temperatura do ar no ático, com diferenças médias de 0,6 °C, nos forros fixados e 0,4 °C nos forros trançados. A diferença máxima absoluta foi inferior a 1 °C nos tratamentos de mesmo forro com diferença apenas na subcobertura. Durante o período diurno, não houve diferença entre os tratamentos com mesmo tipo de forro, conforme mostra a média da diferença térmica nesta análise.

4.5 Temperatura do ar no interior da célula-teste

O comportamento das temperaturas do ar internas nas cinco células-teste monitoradas são apresentados na Figura 34. A Tabela 18 sintetiza os dados por meio de estatística descritiva.

Figura 34 - Comportamento da temperatura do ar no interior das cinco células-teste no período de 12 a 15/02/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 18 - Estatística descritiva da temperatura do ar no interior das cinco células-teste durante os dias de monitoramento

		S-BF	S-BT	C-BF	C-BT	Testemunho
Temp. Máx.	Abs.	35,2	35,1	34,1	34,4	34,5
	Méd.	34,4	34,5	33,4	33,7	33,8
Temp. Mín.	Abs.	23,0	23,2	23,2	23,4	23,2
	Méd.	23,4	23,6	23,7	23,7	23,8
Temp. Méd.		27,9	28,2	27,8	28,0	28,1
σ		4,0	4,0	3,6	3,7	3,7

NOTA:

Temp. Máx. - Temperatura superficial máxima	Temp. Méd. - Temperatura superficial média
Temp. Mín. - Temperatura superficial mínima	σ - desvio padrão

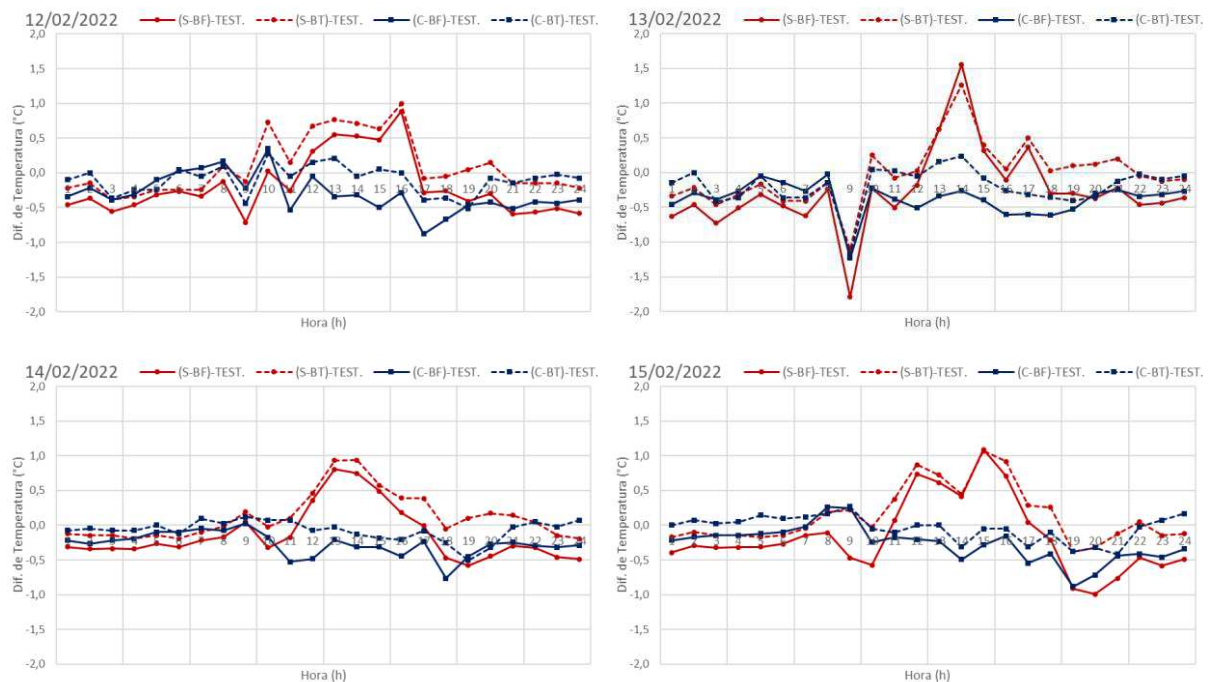
Fonte: autor, 2023

A partir dos resultados obtidos, observou-se que a aplicação do forro combinado com subcobertura em bambu não resultou em alterações na variabilidade do ar interno nas células-teste, obtendo variação semelhante a célula-teste Testemunho.

Diferente do esperado, as células que possuíam apenas aplicação do forro apresentaram tendência de maior aquecimento no ar interno, com média máxima em torno de 34,5 °C, chegando a 35,2 °C (S-BF, no dia 2º dia, às 13h), enquanto a célula-teste testemunho alcançou 34,5 °C, no mesmo dia e horário.

A Figura 35 mostra as diferenças horárias da temperatura do ar interno entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, no período analisado, enquanto a Tabela 19 apresenta uma síntese dessas diferenças.

Figura 35 - Diferenças horárias da temperatura do ar interna entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, no período de 12 a 15/02/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 19 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar interna entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho no período de 12 a 15/02/2022

		S-BF		S-BT		C-BF		C-BT	
		Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora
Mín.	Abs.	-1,8	(2, 8h)	-1,1	(2, 8h)	-1,2	(2, 8h)	-1,2	(2, 8h)
(resfr.)	Méd.	-0,7	(8h)	-0,3	(8h)	-0,6	(16-18h)	-0,4	(18h)
Máx.	Abs.	1,6	(2, 13h)	1,3	(2, 13h)	0,3	(1, 9h)	0,3	(1, 9h)
(aquec.)	Méd.	0,8	(13h)	0,8	(12h, 13h)	0,1	(7h)	0,1	(9h)
Méd.		-0,2		0,1		-0,3		-0,1	
σ		0,5		0,4		0,2		0,2	

NOTA:

S-BF – Célula-teste sem subcobertura com forro fixado;

S-BT - Célula-teste sem subcobertura com forro trançado;

C-BF - Célula-teste com subcobertura com forro fixado;

C-BT - Célula-teste com subcobertura com forro trançado;

Máx. (aquec.) -Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) -Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. -Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados;

σ - desvio padrão;

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento.

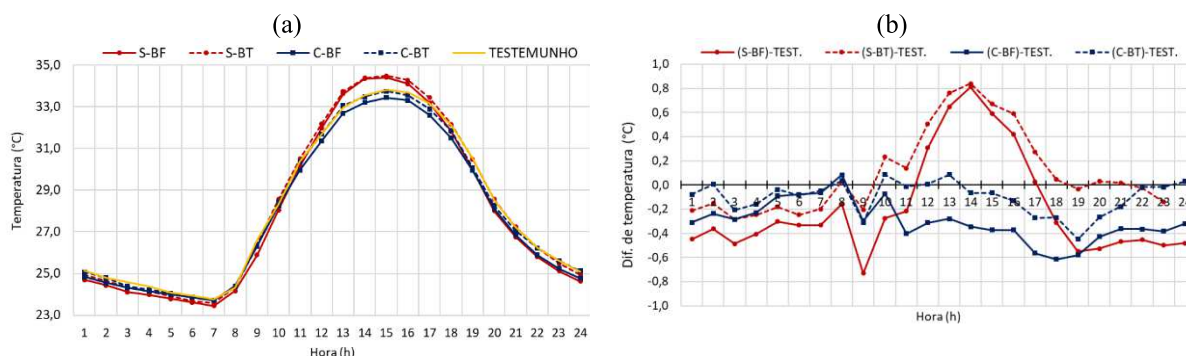
Fonte: autor, 2023

A análise dos dados evidencia variabilidade distinta entre os tratamentos com e sem subcobertura. Nas células-teste sem subcobertura, observou-se que o ar interno é menos aquecido no início da manhã, comparativamente à célula-teste Testemunho. A célula-teste com forro fixado (S-BF) apresentou melhor resultado, com diferença térmica média de 0,7 °C, chegando a 1,8 °C no dia 13/02/2022, às 8h. Esse resultado sugere que a aplicação do forro retarda o aquecimento do ar interno pela manhã, tornando-se mais aquecido no início da tarde (13h).

De modo inverso, nas células-teste com subcobertura, observou-se tendência a menor resfriamento no final da tarde e início da noite, com média em torno de 0,4 °C a 0,6 °C, ao passo que o maior aquecimento tende a ocorrer às 9h, horário de aquecimento mais acentuado do ar interno na célula-teste Testemunho.

A Figura 36 apresenta os valores médios horários da temperatura do ar interno nas células-teste no período analisado e as diferenças médias horárias da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho.

Figura 36 - (a) Valores médios horários da temperatura do ar no interior nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura do ar nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho

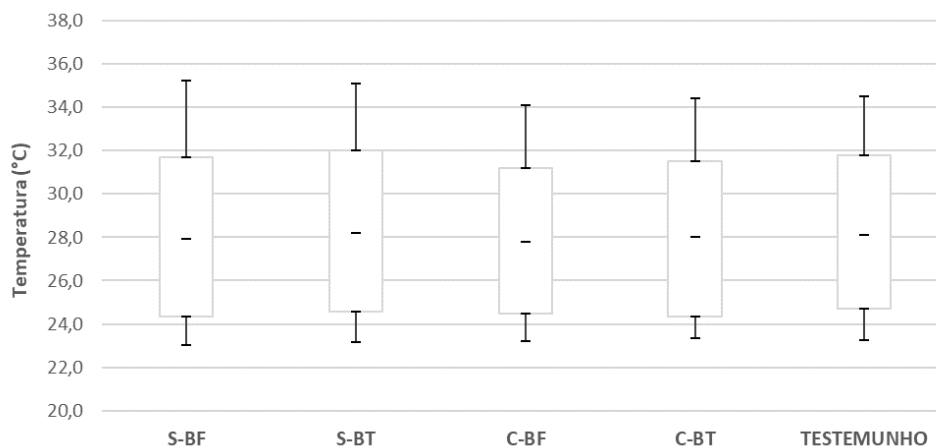


Fonte: autor, 2023

A análise da média horária da variabilidade da temperatura do ar interno evidencia a tendência de maior aquecimento das células-teste com aplicação do forro, sem subcobertura em comparação à célula-teste Testemunho com diferenças absolutas de 1,6°C na S-BF e 1,3°C na S-BT, ambas às 13h. Enquanto que nas células C-BF e C-BT, tiveram diferenças de 0,3°C em ambas as células, às 9h. O maior aquecimento das células-teste com forro trançado ocorre a partir das 9h, enquanto na célula-teste com forro fixado ocorre às 11h. Entretanto, foi possível observar que, a partir das 14h, houve um acentuado resfriamento do tratamento com forro fixado, tornando a célula-teste com esse forro menos aquecida que a célula-teste Testemunho a partir das 18h, mantendo a temperatura do ar mais baixa em relação aos demais tratamentos durante toda a noite e madrugada. Na célula-teste com forro trançado, o resfriamento foi menos intenso, igualando a temperatura com a célula-teste Testemunho apenas às 19h e, a partir desse horário, apresentando pouca diferença térmica em relação a esta durante toda a noite. Esse resultado sugere que a trama mais fechada do forro trançado dificulta a troca de ar com o ático e aumenta a troca de calor por radiação com a superfície interna da telha.

Os tratamentos com aplicação de forro combinado com subcobertura apresentaram maior resfriamento em relação à célula-teste Testemunho, entretanto as diferenças térmicas foram inferiores a 1,0 °C, em todos os horários.

A Figura 37 apresenta estatística exploratória (*boxplot*) do comportamento da temperatura superficial interna nas cinco células-teste durante os dias de monitoramento.

Figura 37 - Gráfico boxplot do comportamento térmico da temperatura do ar interna nas cinco células-teste no período de 12 a 15/02/2022

Fonte: autor, 2023

A análise do gráfico mostra haver pouca diferença (abaixo de 0,4 °C) na variabilidade da temperatura do ar interna com a aplicação dos forros e da subcobertura.

4.5.1 Influência da subcobertura

A Tabela 20 apresenta as diferenças térmicas entre os tratamentos com o mesmo tipo de forro e variação na subcobertura, com a finalidade de analisar os efeitos térmicos da aplicação da subcobertura na variabilidade da temperatura do ar interno.

Tabela 20 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar interno a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de forro

		Efeito da instalação da subcobertura							
		Forro Fixado (xF)				Forro Trançado (xT)			
		C-BF	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	S-BT	Valor	Dia/hora
Mín.	Abs.	33,4	35,2	-1,8	(2, 13h)	32,8	33,8	-1,1	(3, 13h)
(resfr.)	Méd.	33,2	34,4	-1,2	(13h)	33,5	34,4	-0,9	(13h)
Máx.	Abs.	25,9	25,2	0,7	(4, 8h)	24,3	24,0	0,3	(1, 5h)
(aquec.)	Méd.	26,3	25,9	0,4	(8h)	23,9	23,7	0,2	(5h)
Méd.		-0,1				-0,2			
σ		0,5				0,4			

NOTA:

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(xF) – células com ou sem subcobertura com o forro fixado

(xT) - células com ou sem subcobertura com o forro trançado

Fonte: autor, 2023

A análise dos dados permitiu observar que a aplicação da subcobertura resultou em tendência na redução da temperatura do ar interno, com média de 1,2 °C, com forro fixado, e

0,9 °C, com forro trançado, chegando a 1,8 °C e 1,1 °C nos respectivos forros. A influência da subcobertura na redução da temperatura do ar interno se evidencia especialmente às 13h, quando há o maior aquecimento do ar interno.

4.5.2 Influência do tipo de forro

A Tabela 21 mostra as diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar interno a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura. As diferenças térmicas consideram a substituição do forro fixado pelo forro trançado ($x_T - x_F$).

Tabela 21 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar interno a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura

		Efeito do tipo de forro							
		Sem subcobertura (Sx)				Com subcobertura (Cx)			
		S-BT	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	C-BF	Valor	Dia/hora
Mín.	Abs.	34,9	35,2	-0,3	(2, 13h)	23,8	24,0	-0,2	(2, 5h)
(resfr.)	Méd.	34,4	34,4	0,0	(13h)	23,7	23,7	0,0	(6h)
Máx.	Abs.	30,0	29,3	0,7	(1, 9h)	34,3	33,7	0,6	(1, 12h)
(aquec.)	Méd.	28,6	28,0	0,6	(19h)	33,1	32,7	0,4	(12h)
Méd.		0,3				0,2			
σ		0,2				0,2			

NOTA:

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(Sx) – células sem subcobertura, variando apenas o tipo de forro

(Cx) - células com subcobertura, variando apenas o tipo de forro

Fonte: autor, 2023

A análise dos dados permitiu observar que os tipos de forro tiveram pouca influência na variabilidade da temperatura interna do ar. A substituição do fixado pelo forro trançado resultou em leve aquecimento da temperatura do ar, porém este aquecimento foi, em média, 0,6 °C, no tratamento sem subcobertura, e 0,4 °C, no tratamento com subcobertura. Em valores absolutos, a maior diferença térmica foi de 0,7 °C, na célula-teste sem subcobertura.

4.6 Considerações finais do capítulo

Os resultados mostraram que a presença de forro e subcobertura reduziu a temperatura da superfície interna da cobertura, chegando a uma diferença de temperatura de até 10,8 °C em termos absolutos entre as células C-BT e S-BT, sendo que as células com a combinação de forro e subcobertura (C-BF e C-BT) apresentaram menor aquecimento, de até 1,8 °C em ordem absoluta entre ambas. Nas células sem subcobertura, o aquecimento foi maior no início da

manhã (6h às 8h) e ao meio-dia, enquanto nas células com subcobertura, o maior aquecimento ocorreu próximo ao nascer do sol (4h e 5h).

A instalação da subcobertura causou um atraso térmico de até 2h em relação ao horário de maior aquecimento da superfície interna da cobertura.

A análise também mostrou que o tipo de forro influenciou nas temperaturas superficiais, sendo que o forro trançado apresentou maior aquecimento em comparação com o forro fixado, alcançando diferenças térmicas absolutas de até 4,0 °C. As temperaturas superficiais internas do forro foram semelhantes entre os diferentes tratamentos, mas os forros trançados apresentaram redução de temperatura superficial menor que os demais.

No geral, a instalação de forros de bambu com a utilização da telha cerâmica foi eficaz na redução da temperatura superficial interna da cobertura e na temperatura do ar interna.

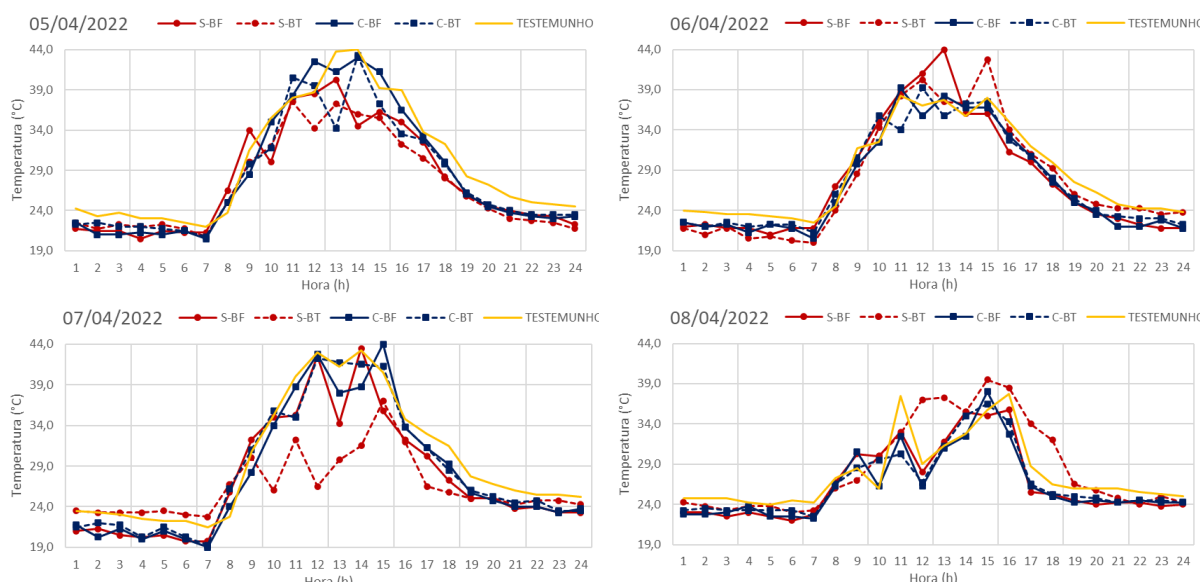
5. ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SUBCOBERTURA E FORRO DE BAMBU EM COBERTURA DE TELHA FIBROCIMENTO

Neste capítulo será apresentado e discutido os resultados obtidos na segunda etapa da pesquisa, referente ao desempenho térmico do forro e subcobertura de bambu em cobertura com telha de fibrocimento.

5.1 Temperatura superficial externa

O comportamento das temperaturas superficiais externas nas cinco células-teste monitoradas são apresentados na Figura 38 e os dados de estatística descritiva são apresentados na Tabela 22.

Figura 38 - Comportamento da temperatura superficial externa nas cinco células-teste no período de 05 a 08/04/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 22 - Desvio padrão e valores máximos, mínimos e médios da temperatura superficial externa nas cinco células-teste durante o monitoramento

	S-BF	S-BT	C-BF	C-BT	TESTEMUNHO
Temp. Máx.	44,0	42,8	44,0	43,3	44,0
Temp. Mín.	19,8	20,0	19,0	19,3	21,5
Temp. Méd.	27,4	27,5	27,6	27,7	29,0
σ	6,4	5,7	6,7	6,3	6,3

NOTA:

Temp. Máx. - Temperatura superficial máxima

Temp. Mín. - Temperatura superficial mínima

Temp. Méd. - Temperatura superficial média

σ - desvio padrão

Fonte: autor, 2023

Os resultados obtidos mostraram pouca variação (até 0,5 °C) nos dois primeiros dias (05 e 06/04/2022), quanto aos dados relativos à temperatura superficial na face externa da cobertura de fibrocimento nas cinco células-teste monitorada. No terceiro dia (07/02/2022),

percebeu-se uma variação maior chegando a diferenças térmicas absolutas de até 16,5 °C entre as células S-BT e Testemunho, nos horários de 11h até 13h.

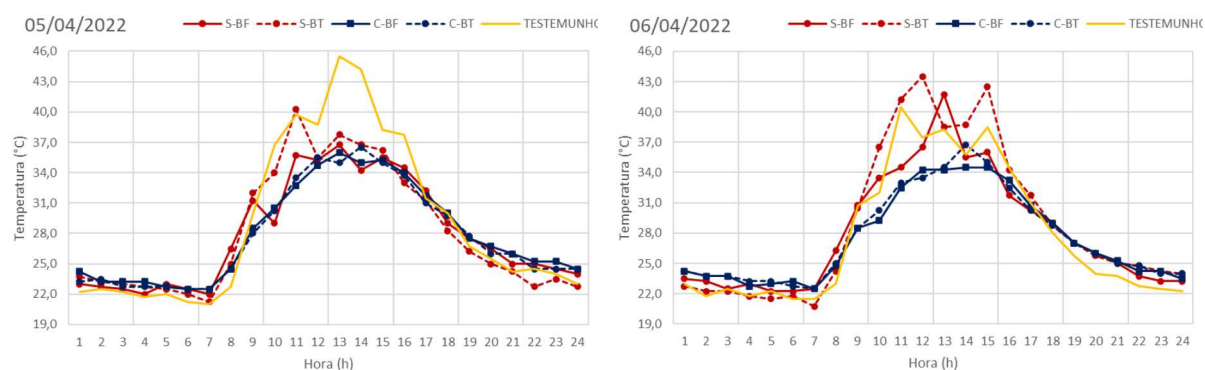
O monitoramento se deu nos quatro dias (05 a 08/04/2022), seguindo a metodologia da seção anterior (4.0). Diante da percepção da grande variação de temperatura superficial externa, que deveria ter sido mínima, optou-se por retirar os dias 07 e 08/02/2022 para elaboração da presente análise da cobertura de fibrocimento. Tal decisão foi necessária para não comprometer a análise da temperatura média durante os dias de monitoramento.

Os dois primeiros dias apresentaram pouca variação de temperatura superficial entre as células -teste, tendo desvio padrão abaixo de 0,7 e diferença de temperatura média superficial na face externa da cobertura entre as células de até 0,5 °C.

5.2 Temperatura superficial na face interna da cobertura ou na subcobertura

O comportamento das temperaturas superficiais internas nas cinco células-teste monitoradas são apresentados na Figura 39. A Tabela 23 sintetiza os dados por meio de estatística descritiva.

Figura 39 - Comportamento da temperatura superficial interna cobertura ou na subcobertura de bambu nas cinco células-teste nos dias 05 e 06/04/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 23 - Estatística descritiva da temperatura superficial interna da cobertura ou na subcobertura de bambu nas cinco células-teste durante os dias de monitoramento

		S-BF	S-BT	C-BF	C-BT	Testemunho
Temp. Máx.	Abs.	41,8	43,5	36,0	36,8	45,5
	Méd.	26,2	27,2	23,4	24,4	27,9
Temp. Mín.	Abs.	22,0	20,8	22,5	22,5	21,0
	Méd.	14,8	14,0	15,0	15,0	14,2
Temp. Méd.		28,0	28,5	27,7	27,7	28,4
σ		5,4	6,8	4,5	4,7	7,3

NOTA:

Temp. Máx. - Temperatura superficial máxima	σ - desvio padrão
Temp. Mín. - Temperatura superficial mínima	Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento
Temp. Méd. - Temperatura superficial média	

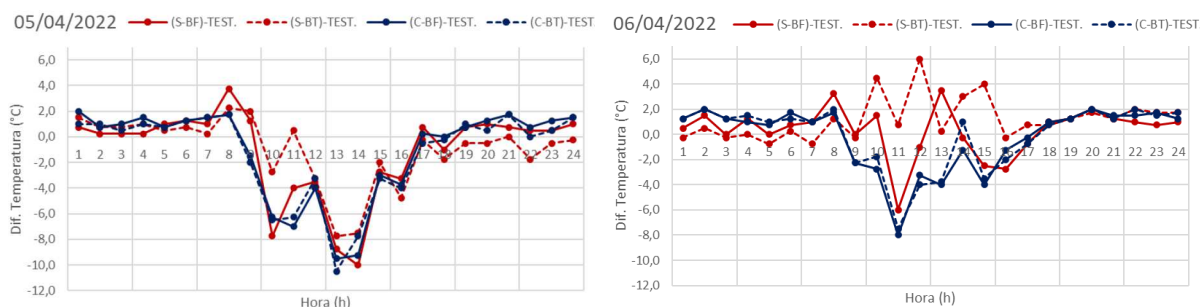
Fonte: autor, 2023

A partir dos resultados obtidos, percebeu-se notável influência do forro e da subcobertura na variabilidade da temperatura superficial na face interna da cobertura, acentuada nos horários de incidência de radiação solar. As células que tiveram apenas aplicação do forro (S-BF e S-BT) apresentaram tendência de maior aquecimento na superfície da face interna da cobertura, chegando a 41,8 °C e 43,5 °C (S-BF e S-BT, respectivamente), no dia 06/04/2022, às 11h e 12h, enquanto a célula-teste testemunho alcançou 45,5 °C, no mesmo horário do primeiro dia (05/04/2022). Entretanto, a combinação de forro e subcobertura proporcionou redução notável na temperatura da superfície interna da cobertura (0,8 °C). Essa diferença aconteceu nas máximas absolutas registradas nas células-teste C-BF (36,0 °C, às 13h no 1° dia) e C-BT (36,8 °C, às 13h do 2° dia).

A análise do valor médio dessa variável também permite afirmar que a combinação do forro com a subcobertura proporcionou menor aquecimento (27,7°C na C-BF e 27,7° C-BT) na superfície interna da cobertura. Cabe destacar que o equipamento de monitoramento dos dados desta variável foi posicionado em contato direto com o bambu na célula-teste C-BF e C-BT, monitorando a temperatura superficial do próprio bambu (subcobertura), enquanto na célula-teste S-BF e S-BT, o termopar coletou dados da temperatura superficial interna da telha de fibrocimento.

A Figura 40 mostra as diferenças horárias da temperatura superficial na face interna da cobertura/subcobertura entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, no período analisado, enquanto a Tabela 24 mostra a análise estatística descritiva.

Figura 40 - Diferenças horárias da temperatura superficial na face interna da cobertura/subcobertura entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, nos dias 05 e 06/04/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 24 - Diferenças térmicas absolutas, médias e desvio padrão da temperatura superficial na face interna da cobertura/subcobertura entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho nos dias 05 e 06/04/2022

		S-BF		S-BT		C-BF		C-BT	
		Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora
Máx.	Abs.	3,8	(1, 7h)	6,0	(2, 11h)	2,0	(2, 19h)	2,0	(2, 7h)
(aquec.)	Méd.	2,3	(7h)	1,2	(7h)	1,2	(7h)	1,3	(7h)
Mín.	Abs.	-10,0	(1, 13h)	-7,8	(1, 12h)	-9,5	(1, 12h)	-10,5	(1, 12h)
(resfr.)	Méd.	-3,4	(13h)	-2,5	(12h)	-5,0	(10h)	-4,8	(12h)
Méd.		-0,2		0,1		-0,4		-0,5	
σ		1,4		0,8		2,0		1,8	

NOTA:

S-BF – Célula-teste sem subcobertura com forro fixado;

S-BT - Célula-teste sem subcobertura com forro trançado;

C-BF - Célula-teste com subcobertura com forro fixado;

C-BT - Célula-teste com subcobertura com forro trançado;

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados;

σ - desvio padrão;

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento.

Fonte: autor, 2023

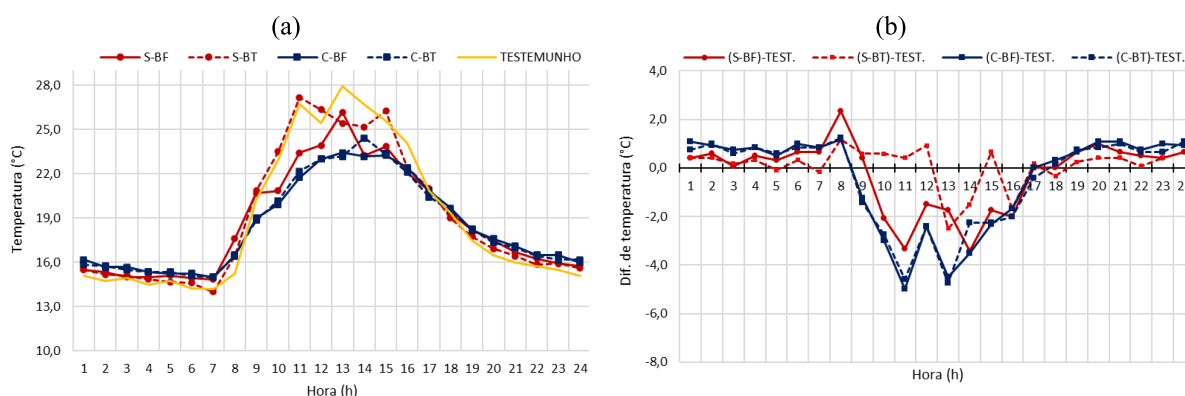
A análise dos dados evidencia variabilidade distinta entre os tratamentos com e sem subcobertura. Nas células-teste sem subcobertura, observou-se que a superfície interna da cobertura é menos aquecida no início da manhã, comparado à célula-teste Testemunho. Porém, logo em seguida, houve um intenso aquecimento da superfície interna da telha, alcançando diferenças térmicas médias de 3,4 °C (S-BF) e 2,5 °C (S-BT), aos horários de 13h e 12h, quando o Sol estava com altura mais elevada. As diferenças térmicas alcançaram 10,0 °C (S-BF) e 7,8 °C (S-BT), em valores absolutos. O comportamento da célula-teste S-BF deve-se, possivelmente, pelo fato de o forro de bambu fixado possuir uma malha mais aberta, facilitando a trocar de ar com o volume interno da célula-teste abaixo do forro.

Nas células-teste com subcobertura, observou-se tendência inversa. O menor aquecimento da superfície interna da subcobertura, comparativamente à célula-teste Testemunho, ocorreu às 12h no primeiro dia. Ao incidir radiação solar direta sobre a cobertura, a subcobertura em bambu apresentou tendência de menor aquecimento, com diferenças térmicas médias de 5,0 °C (C-BF) e 4,8 °C (C-BT), às 10h e 12h. As diferenças térmicas alcançaram 9,5 °C (C-BF) e 10,5 °C (C-BT), em valores absolutos.

A análise dos valores médios permite afirmar a tendência de maior aquecimento dessa a superfície interna da cobertura nos tratamentos com apenas aplicação dos forros, ao passo que a aplicação combinada de forro e subcobertura tende a reduzir os valores dessa variável.

A Figura 41 apresenta os valores médios horários da temperatura superficial na face interna da cobertura nas células-teste de todo o período analisado e as diferenças médias horárias da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho.

Figura 41 - (a) Valores médios horários da temperatura superficial na face interna da cobertura nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho



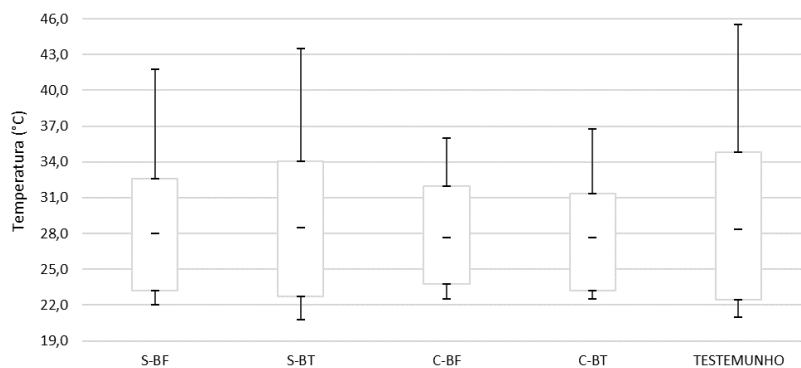
Fonte: autor, 2023

A análise da média horária do comportamento térmico superficial da face interna da cobertura evidencia a tendência de maior aquecimento dessa superfície quando instalado apenas o forro, sendo o mais acentuado com o forro trançado, chegando a 27,2 °C, às 10h na S-BT. Já na S-BF, alcançou média máxima de 26,2 °C, às 12h, resultando em diferenças térmicas de 1,2 °C e 2,3 °C, respectivamente.

A mesma tendência de aquecimento do forro trançado foi observada com a aplicação de subcobertura, na qual a temperatura média máxima foi de 24,4 °C (C-BT), enquanto a temperatura média máxima em C-BF foi de 23,4 °C, uma diferença de 1,0 °C, às 13h (horário de maior aquecimento).

Também foi possível observar que a instalação da subcobertura, proporcionou atraso térmico em relação ao horário de maior aquecimento dessa superfície. Nas células sem instalação de subcobertura, o maior aquecimento ocorreu próximo às 10h (S-BT e Testemunho) e ao meio-dia (S-BF), enquanto nas células com subcobertura, o maior aquecimento ocorreu às 13h (C-BF e C-BT).

A Figura 42 apresenta estatística exploratória (boxplot) do comportamento da temperatura superficial interna nas cinco células-teste durante os dias de monitoramento.

Figura 42 - Gráfico boxplot do comportamento térmico da temperatura superficial interna nas cinco células-teste nos dias 05 e 06/04/2022

Fonte: autor, 2023

A análise do gráfico mostra haver maior variabilidade na temperatura superficial interna da cobertura com a aplicação do forro trançado sem subcobertura (S-BT), com média igual a célula-teste Testemunho. Os melhores resultados, quanto à essa variável, foram observados nas células-teste com aplicação da subcobertura (C-BF e C-BT).

5.2.1 Influência da subcobertura

A Tabela 25 apresenta as diferenças térmicas entre os tratamentos com o mesmo tipo de forro e variação na subcobertura, com a finalidade de analisar os efeitos térmicos da aplicação da subcobertura na variabilidade da temperatura superficial interna da cobertura.

Tabela 25 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de forro

		Efeito da instalação da subcobertura							
		Forro Fixado (xF)				Forro Trançado (xT)			
		C-BF	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	S-BT	Valor	Dia/hora
Máx. (aquec.)	Abs.	30,5	29,0	1,5	(1, 9h)	26,0	24,4	1,8	(2, 4h)
	Méd.	15,7	15,0	0,7	(2h)	15,0	14,0	1,0	(6h)
Mín. (resfr.)	Abs.	34,3	41,8	-7,5	(2, 12h)	33,5	43,5	-10,0	(2, 11h)
	Méd.	23,4	26,2	-2,8	(12h)	22,2	27,2	-5,0	(10h)
Méd. σ		-0,2 0,9				-0,5 1,7			

NOTA:

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

 σ - desvio padrão

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(xF) – células com ou sem subcobertura com o forro fixado

(xT) - células com ou sem subcobertura com o forro trançado

Fonte: autor, 2023

A análise das diferenças horárias mostra redução média de 2,8 °C, com forro fixado, e 5,0 °C com forro trançado, chegando a 7,5 °C e 10,0 °C, respectivamente, em valores absolutos. Esse resultado pode ser explicado pelos diferentes materiais em que o sensor de temperatura foi instalado (na subcobertura de bambu na C-BF e C-BT e na telha de fibrocimento na S-BF e S-BT), como mencionado anteriormente.

5.2.2 Influência do tipo de forro

A Tabela 26 mostra as diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura. As diferenças térmicas consideram a substituição do forro fixado pelo forro trançado ($x_T - x_F$).

Tabela 26 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura

		Efeito do tipo de forro							
		Sem subcobertura (Sx)				Com subcobertura (Cx)			
		S-BT	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	C-BF	Valor	Dia/hora
Máx.	Abs.	43,5	36,5	7,0	(2, 11h)	36,8	34,5	2,3	(2, 13h)
(aquec.)	Méd.	27,2	23,4	3,8	(10h)	24,4	23,2	1,3	(13h)
Mín.	Abs.	38,5	41,8	-3,3	(2, 12h)	35,0	36,0	-1,0	(1, 12h)
(resfr.)	Méd.	16,4	17,6	-1,2	(7h)	20,4	20,8	-0,4	(16h)
Méd.		0,3				0,0			
σ		1,3				0,3			

NOTA:

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(Sx) – células sem subcobertura, variando apenas o tipo de forro

(Cx) - células com subcobertura, variando apenas o tipo de forro

Fonte: autor, 2023

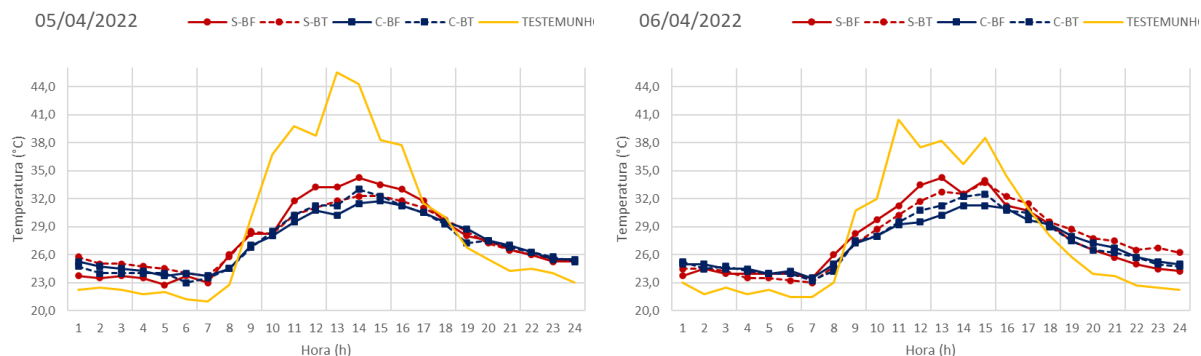
A análise dos dados permitiu observar que houve maior influência do tipo de forro nos tratamentos sem subcobertura, com leve tendência à aquecimento com o forro trançado, na ordem de 7,0 °C. Nos tratamentos com subcobertura, observou-se leve tendência a menor temperatura da superfície interna da subcobertura combinado com o forro trançado, chegando a 2,3 °C.

5.3 Temperatura superficial na face interna do forro

O comportamento das temperaturas superficiais na face interna do forro nas quatro células-teste monitoradas são apresentados na Figura 43 e os dados de estatística descritiva são

apresentados na Tabela 27. Foram utilizados dados da temperatura superficial da face interna da telha na célula-teste testemunho, a fim de servir de comparativo com as demais superficiais na face interna do forro da S-BF, S-BT, C-BF e C-BT.

Figura 43 - Comportamento horário da temperatura superficial na face interna do forro nas quatro células-teste nos dias 05 e 06/04/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 27 - Valores da temperatura superficial na face interna do forro nas quatro células-teste durante os dias de monitoramento

		S-BF	S-BT	C-BF	C-BT	Testemunho
Temp. Máx.	Abs.	34,3	33,8	31,8	33,0	45,5
	Méd.	22,5	22,0	21,0	21,8	27,9
Temp. Mín.	Abs.	22,8	23,0	23,5	23,0	21,0
	Méd.	15,5	15,6	15,8	15,6	14,2
Temp. Méd.		27,7	27,7	27,2	27,2	28,4
σ		3,8	3,1	2,6	3,0	7,3

NOTA:

Temp. Máx. - Temperatura superficial máxima

Temp. Mín. - Temperatura superficial mínima

Temp. Méd. - Temperatura superficial média

σ - desvio padrão

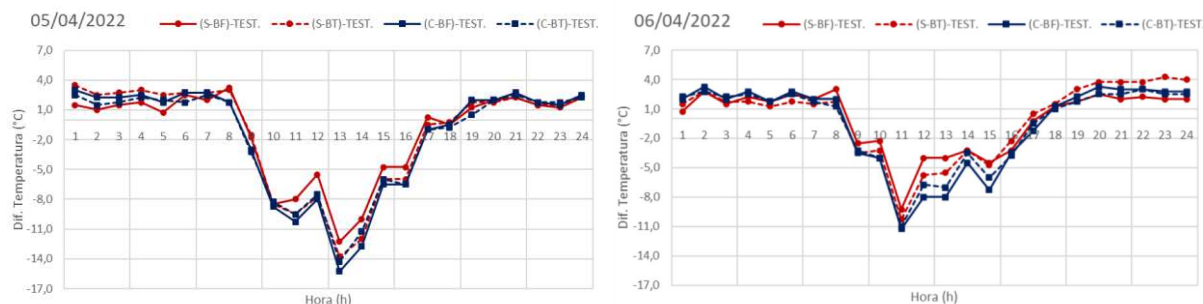
Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

Fonte: autor, 2023

A partir dos resultados obtidos, o maior aquecimento foi observado nos forros cuja célula não possuíam subcobertura, chegando a 34,3 °C (S-BF) e 33,8 °C (S-BT), enquanto nas células com subcobertura a máxima foi de 31,8 °C (C-BF) e 33,0 °C (C-BT). As máximas em todas as células-teste foram registradas de 12h às 14h durante os dias de monitoramento. A maior diferença térmica foi de 4,0 °C absoluta entre as células S-BF e C-BF, no dia 06/04/2022, às 12h.

A Figura 44 mostra as diferenças horárias da temperatura superficial na face interna do forro entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, no período analisado, enquanto a Tabela 28 apresenta uma síntese dessas diferenças.

Figura 44 - Diferenças horárias da temperatura superficial na face interna do forro entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, nos dias 05 e 06/04/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 28 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna do forro entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho nos dias 05 e 06/04/2022

		S-BF		S-BT		C-BF		C-BT	
		Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora
Máx.	Abs.	3,3	(1, 7h)	4,3	(2, 22h)	3,3	(2, 19h)	3,0	(2, 21h)
(aquec.)	Méd.	2,1	7h	2,1	23h	1,9	20h	1,7	20h
Mín.	Abs.	-12,3	(1, 12h)	-13,8	(1, 12h)	-15,3	(1, 12h)	-14,3	(1, 12h)
(resfr.)	Méd.	-5,8	10h	-6,6	10h	-7,8	12h	-7,1	12h
Méd.		-0,5		-0,4		-0,8		-0,8	
σ		2,5		3,0		3,3		3,0	

NOTA:

S-BF – Célula-teste sem subcobertura com forro fixado;

S-BT - Célula-teste sem subcobertura com forro trançado;

C-BF - Célula-teste com subcobertura com forro fixado;

C-BT - Célula-teste com subcobertura com forro trançado;

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados;

σ - desvio padrão;

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento.

Fonte: autor, 2023

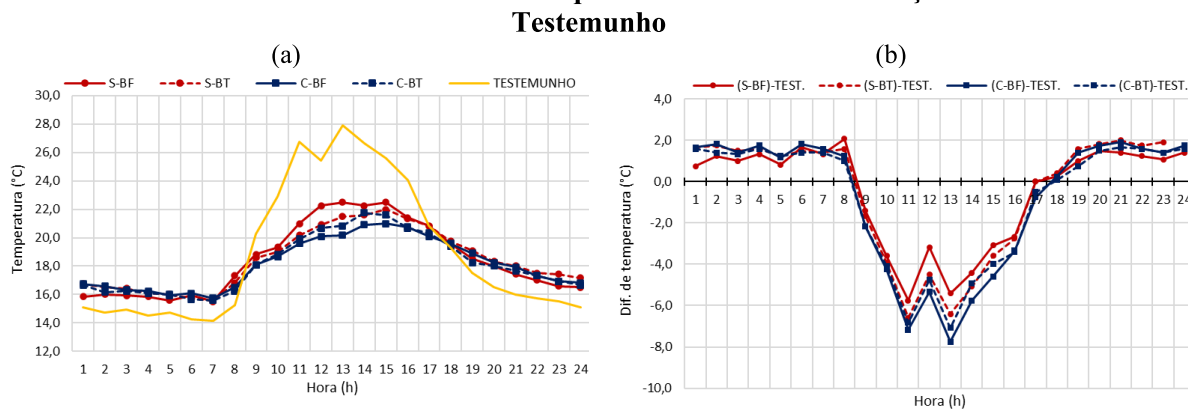
A análise da diferença de temperatura entre os quatro tratamentos com forro e a célula-teste Testemunho mostrou que todos os forros apresentaram desempenho semelhante, com exceção do fixado (S-BF) que apresentou redução de temperatura superficial média menor que os demais (2,3 °C). Esse resultado sugere que o maior aquecimento da superfície do forro S-BF deve-se, provavelmente, à troca térmica por radiação entre o forro e a superfície interna da cobertura dessas células-teste, apresentando maior temperatura superficial na face inferior da telha nos horários com incidência de radiação solar direta sobre a cobertura, conforme já verificado na seção 5.2. Também foi possível observar que a temperatura superficial interna do forro permanece menos aquecida que a superfície interna da cobertura nos horários diurnos e com diferenças térmicas média em torno de 5,8 °C (C-BT) a 7,8 °C (C-BF), chegando a 15,3 °C (C-BF), em valores absolutos.

Entretanto, nos horários noturnos, a superfície do forro se mantém mais aquecida que a superfície interna da telha de fibrocimento, com diferenças térmicas média de 1,7 °C (C-BT) a 2,1 °C (S-BT e S-BF), chegando a 4,3 °C (S-BT), em valores absolutos. Esse resultado sugere que o forro de bambu possui maior capacidade de retenção do calor, com liberação dessa energia no período noturno. Essa estratégia é interessante para localidades de clima tropical de savana, com dias são quentes e noites frias.

A análise comparativa entre as temperaturas superficiais internas dos forros em relação a célula Testemunho mostrou bom desempenho quanto à temperatura na face voltada para o ambiente interno, com redução acima de 10,0 °C, observadas nos horários próximo ao meio-dia, com exceção da célula-teste com subcobertura e forro fixado (C-BF), na qual a redução térmica chegou a 15,3 °C, no dia 05/04/2022 às 12h. A média diária da diferença térmica ficou próximo a 0,8 °C nas células-teste com subcobertura. Este resultado evidencia o efeito da instalação de forros de bambu com subcobertura na redução da temperatura superficial da face interna da cobertura. Porém, cabe destacar que a célula-teste sem subcobertura e com forro trançado (S-BT) registrou diferença média diária de apenas 0,4 °C, possivelmente pela formação de um bolsão de ar confinado no ático.

A Figura 45 apresenta os valores médios horários da temperatura superficial na face interna da cobertura nas células-teste no período analisado e as diferenças médias horárias da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho.

Figura 45 - (a) Valores médios horários da temperatura superficial na face interna dos forros nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste



Fonte: autor, 2023

A partir da Figura 45 verificou-se que as temperaturas superficiais dos forros de bambu mantiveram-se mais elevadas do que a superfície interna da cobertura da célula-teste

Testemunho durante os horários noturnos e de madrugada, com destaque para a célula-teste sem subcobertura com forro trançado (S-BT), a qual alcançou aquecimento de até 4,3 °C em relação à célula Testemunho. Durante os horários de incidência de radiação solar direta e aumento da temperatura superficial externa da telha, a superfície interna da cobertura da célula Testemunho em contato direto com o ambiente interno sofreu rápido aquecimento, enquanto as temperaturas superficiais dos forros nas demais células-teste mantiveram-se menos aquecidas, já que apresentavam forro. Foi possível observar um atraso térmico médio em torno de 2h e amortecimentos térmicos na ordem de 7,8 °C (C-BF); 7,1 °C (C-BT), 6,6 (S-BT) e 5,8 (S-BF).

A maior diferença térmica média observada entre os forros foi de 0,9 °C, entre as células S-BT e S-BF, às 0h, evidenciando, mais uma vez, a tendência de maior aquecimento superficial do forro trançado.

Observou-se ainda que, a instalação da subcobertura apresentou efeito no comportamento térmico da temperatura superficial interna dos forros, sendo a diferença máxima de 2,3 °C, entre os forros fixados e 0,8 °C nos forros trançados. Dessa forma, verificou-se que a instalação dos forros de bambu com subcobertura resultou em diferenças significativas quanto à sua temperatura superficial direcionada para o interior da célula-teste.

5.3.1 Influência da subcobertura

A Tabela 13 apresenta as diferenças térmicas entre os tratamentos com o mesmo tipo de forro e variação na subcobertura, com a finalidade de analisar os efeitos térmicos da aplicação da subcobertura e na Figura 30 apresenta estatística exploratória (*boxplot*) do comportamento da temperatura superficial interna do forro nas cinco células-teste durante os dias de monitoramento.

Tabela 29 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna do forro a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de forro

		Efeito da instalação da subcobertura							
		Forro Fixado (xF)				Forro Trançado (xT)			
		C-BF	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	S-BT	Valor	Dia/hora
Máx.	Abs.	25,3	23,8	1,5	(1, 0h)	25,3	24,5	0,8	(2, 0h)
(aquec.)	Méd.	16,8	15,8	1,0	0h	21,8	21,6	0,2	13h
Mín.	Abs.	30,3	34,3	-4,0	(2, 12h)	25,0	26,8	-1,8	(2, 22h)
(resf.)	Méd.	20,2	22,5	-2,3	12h	18,3	19,1	-0,8	18h
Méd.		-0,3				-0,3			
σ		0,9				0,3			

NOTA:

Máx. (aquec.) -Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) -Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

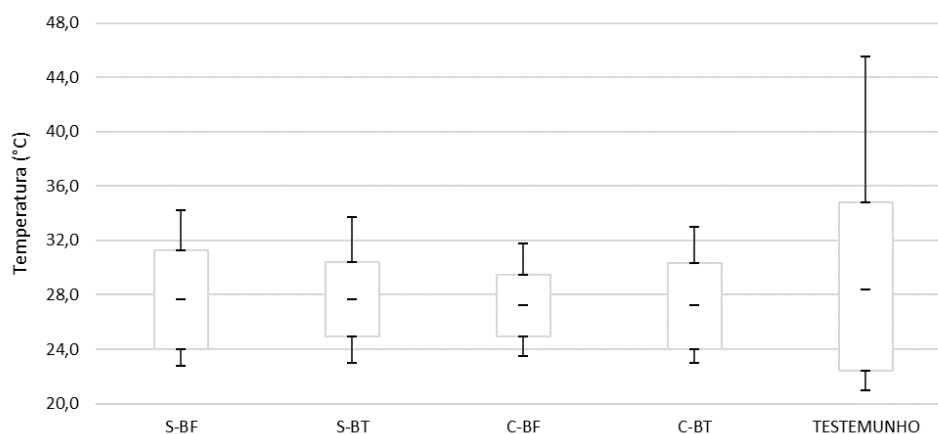
Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(xF) – células com ou sem subcobertura com o forro fixado

(xT) – células com ou sem subcobertura com o forro trançado

Fonte: autor, 2023

Figura 46 - Gráfico boxplot do comportamento térmico da temperatura superficial interna dos forros nas quatro células-teste com forro e da face interna da telha na célula-teste Testemunho nos dias 05 a 06/04/2022



Fonte: autor, 2023

A análise da estatística descritiva revela uma certa influência da subcobertura no comportamento da temperatura superficial interna dos forros. A diferença térmica média é de 0,3 °C, entre ambos os forros, porém a média mínima entre os forros fixados, chegou a 2,3°C às 12h. A variabilidade foi semelhante entre todos os tratamentos, com exceção da célula-teste Testemunho que apresentou desvio-padrão maior (7,3) que os demais tratamentos por não possuir forro.

A análise dos dados permitiu observar que a aplicação da subcobertura teve mais influência na variabilidade da temperatura superficial com o forro fixado, com média de resfriamento de 2,3 °C, chegando a uma diferença máxima de 4,0 °C no forro fixado, em valores absolutos. A maior influência sobre o forro fixado deve-se, provavelmente, à redução da troca térmica por radiação entre a superfície mais aquecida da face interna da telha e o forro.

A análise comparativa entre células com mesmo tipo de forro e a diferença quanto à subcobertura mostrou que, nas células com forro fixado (C-BF e S-BF), a diferença térmica chegou a 4,0 °C no horário de 12h, estando o forro da célula-teste sem subcobertura mais aquecido. Nas células com forro trançado (S-BT e C-BT) foi observada diferença térmica de até 1,8 °C, estando o forro da célula sem subcobertura (S-BF) mais aquecido nos horários

próximos as 22h, enquanto a célula com subcobertura (C-BF) esteve menos aquecida no fim da noite, apresentando diferença térmica também de 0,8 °C.

5.3.2 Influência do tipo de forro

A Tabela 30 mostra as diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna da cobertura ou subcobertura a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura. As diferenças térmicas consideram a substituição do forro fixado pelo forro trançado (xT - xF).

Tabela 30 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura superficial na face interna do forro a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura

		Efeito do tipo de forro							
		Sem subcobertura (Sx)				Com subcobertura (Cx)			
		S-BT	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	C-BF	Valor	Dia/hora
Máx.	Abs.	26,8	24,5	2,3	(2, 22h)	33,0	31,5	1,5	(1, 13h)
(aquec.)	Méd.	16,8	15,8	1,0	(0h)	21,8	20,9	0,8	(13h)
Mín.	Abs.	31,0	33,3	-2,3	(1, 11h)	27,3	28,8	-1,5	(1, 18h)
(resfr.)	Méd.	20,9	22,3	-1,3	(11)	18,3	18,9	-0,7	(18h)
Méd.		0,0				0,0			
σ		0,6				0,4			

NOTA:

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(Sx) – células sem subcobertura, variando apenas o tipo de forro

(Cx) - células com subcobertura, variando apenas o tipo de forro

Fonte: autor, 2023

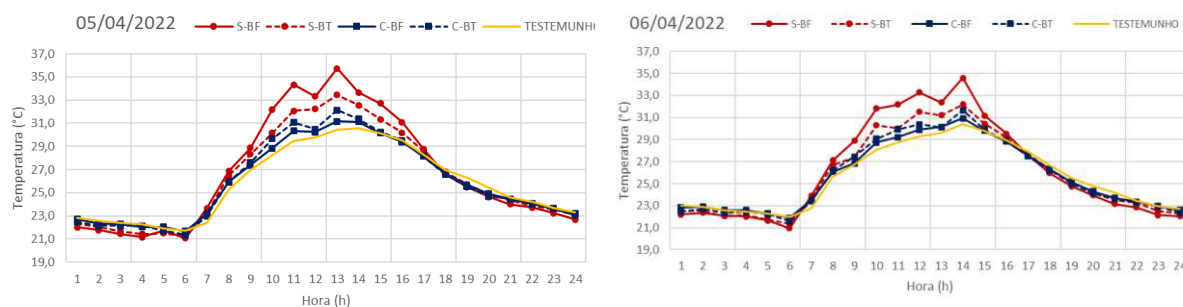
A análise comparativa entre células com mesma condição de subcobertura e diferente tipo de forro mostrou que o forro fixado tende a permanecer mais aquecido do que o forro trançado. A diferença nas células sem subcobertura chegou a 2,3 °C, no início da tarde e no final da noite, enquanto nas células com subcobertura esta diferença foi de 1,5 °C também no início da tarde e agora no início da noite. Em ambas as situações, as células-teste com forro fixado apresentaram maior temperatura superficial na parte inferior do forro, possivelmente devido à maior facilidade de troca de ar.

5.4 Temperatura do ar no ático

O comportamento das temperaturas do ar no ático do forro nas quatro células-teste monitoradas são apresentados na Figura 47. Foram utilizados dados da temperatura superficial

da face interna da telha na célula-teste testemunho, a fim de servir de comparativo com as demais superficiais na face interna do forro da S-BF, S-BT, C-BF e C-BT.

Figura 47 - Comportamento da temperatura do ar no ático do forro nas quatro células-teste nos dias 05 e 06/04/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 31 - Valores da temperatura do ar no ático nas quatro células-teste durante os dias de monitoramento

		S-BF	S-BT	C-BF	C-BT	Testemunho
Temp. Máx.	Abs.	35,8	33,5	31,2	32,1	-
	Méd.	22,7	21,6	20,7	21,0	-
Temp. Mín.	Abs.	20,9	21,3	21,7	21,3	-
	Méd.	14,0	14,2	14,5	14,3	-
Temp. Méd.		26,4	26,1	25,8	25,8	-
σ		4,6	3,9	3,1	3,4	-

NOTA:

Temp. Máx. - Temperatura superficial máxima

Temp. Mín. - Temperatura superficial mínima

Temp. Méd. - Temperatura superficial média

σ - desvio padrão

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

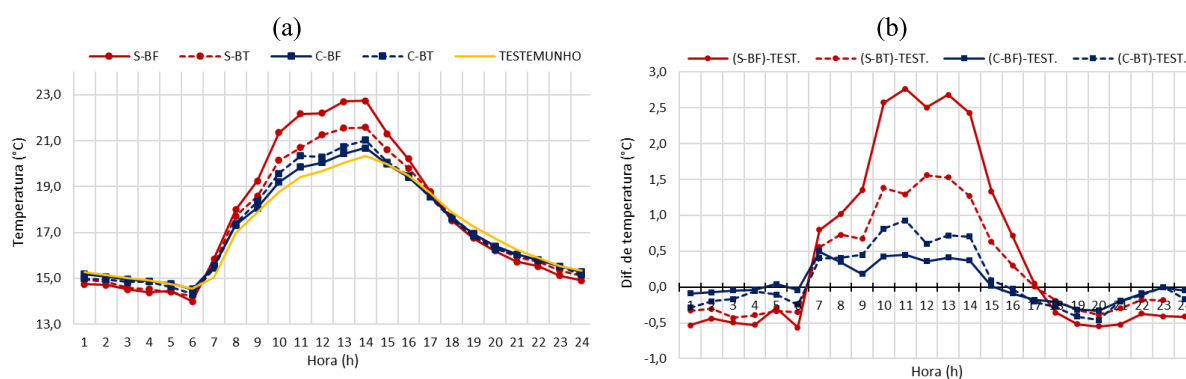
Fonte: autor, 2023

A partir dos resultados obtidos, percebeu-se que a diferença de temperatura do ar no ático pode variar de acordo com o tipo de forro e a instalação da subcobertura. A célula-teste com forro fixado e sem subcobertura (S-BF) apresentou temperatura do ar máxima de 35,8 °C, às 12h no dia 05/04/2022, enquanto a célula-teste com forro fixado e com subcobertura (C-BF) apresentou a temperatura do ar máxima de 31,2 °C, no mesmo dia e horário. Quanto às células-teste com forro trançado, o tratamento sem subcobertura apresentou máxima de 33,5 °C (dia 05/04/2022, às 12h), ao passo que no tratamento com instalação de subcobertura a máxima foi de 32,1 °C (também no primeiro dia, às 12h).

Esse resultado evidenciou que o tipo de forro influenciou nos valores da temperatura do ar no ático, nas células sem subcobertura encontrou-se um amortecimento térmico de 2,3 °C, enquanto a instalação da subcobertura proporcionou amortecimento térmico de 1,0 °C, sem atraso térmico.

A Figura 48 apresenta os valores médios horários da temperatura do ar no ático nas células-teste no período analisado e as diferenças médias horárias da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho.

Figura 48 - (a) Valores médios horários da temperatura do ar no ático nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho



Fonte: autor, 2023

A Figura 48 evidencia o maior aquecimento da temperatura do ar no ático nos tratamentos sem subcobertura (S-BT e S-BF) nos horários entre 10h e 16h, principalmente na S-BF, chegando a uma diferença média de 1,2 °C. A instalação da subcobertura proporcionou amortecimento térmico na ordem de 2,3 °C com forro fixado e 1,0 °C com forro trançado e atraso térmico de 1h entre ambos. Nos demais períodos do dia, a diferença térmica foi reduzida.

5.4.1 Influência da subcobertura

A Tabela 32 apresenta as diferenças térmicas entre os tratamentos com o mesmo tipo de forro e variação na subcobertura, com a finalidade de analisar os efeitos térmicos da aplicação da subcobertura na variabilidade da temperatura do ar no ático. A Figura 49 apresenta estatística exploratória (*boxplot*) do comportamento da temperatura do ar no ático nas quatro células-teste durante os dias.

Tabela 32- Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar no ático a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de forro

		Efeito da instalação da subcobertura							
		Forro Fixado (xF)				Forro Trançado (xT)			
		C-BF	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	S-BT	Valor	Dia/hora
Máx.	Abs.	21,9	20,9	1,0	(2, 5h)	22,1	21,4	0,7	(1, 3h)
(aquec.)	Méd.	14,9	14,4	0,5	(3h)	14,8	14,6	0,3	(2h/3h)
Mín.	Abs.	31,2	35,8	-4,6	(1, 16h)	30,5	32,2	-1,7	(1, 11h)
(resfr.)	Méd.	20,4	22,7	-2,3	(12h)	20,3	21,3	-1,0	(11h)
Méd.				-0,5				-0,2	
σ				1,0				0,3	

NOTA:

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

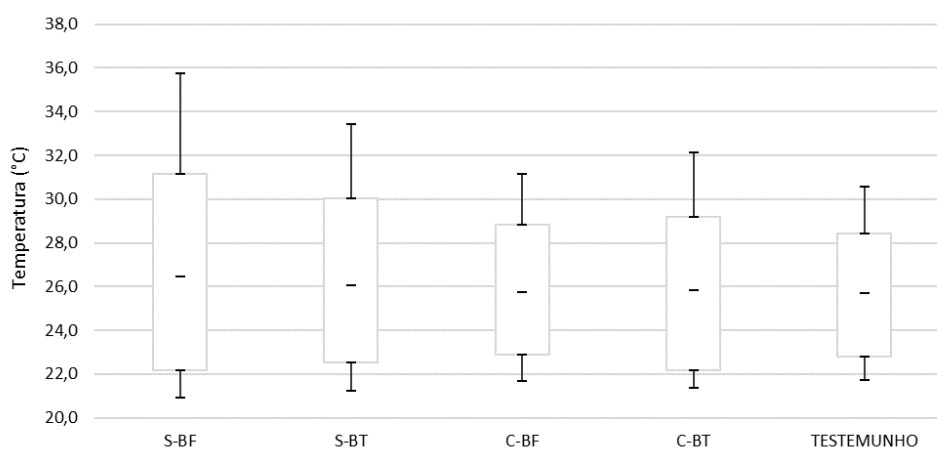
Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(xF) – células com ou sem subcobertura com o forro fixado

(xT) – células com ou sem subcobertura com o forro trançado

Fonte: do autor, 2023

Figura 49 - Gráfico boxplot do comportamento térmico da temperatura do ar no ático nas quatro células-teste com forro e do ar interno na célula-teste Testemunho nos dias 05 e 06/04/2022



Fonte: autor, 2023

A análise da estatística descritiva evidenciou que a subcobertura apresentou maior influência na temperatura do ar no ático do que o tipo de forro, no período diurno, ao passo que no período noturno os comportamentos térmicos em todos os tratamentos foram semelhantes, evidenciando não haver influência, seja do tipo de forro, seja da subcobertura. A variabilidade também foi semelhante entre todos os tratamentos, com leve redução no desvio-padrão nos tratamentos com subcobertura, com 0,2.

A análise comparativa entre células com mesmo tipo de forro e diferença quanto à subcobertura mostrou que a instalação da subcobertura proporcionou resfriamento médio de 2,3 °C nos tratamentos com forro fixado, chegando à diferença térmica absoluta de 4,6 °C, no dia 05/04/2022, às 16h. Nos tratamentos com forro trançado, a diferença térmica média foi um pouco menor, de 1,0 °C, com absoluta de 1,7 °C, no dia 05/04/2022, às 11h. Esse resultado evidenciou que a instalação da subcobertura, ao proporcionar menor aquecimento da superfície abaixo da cobertura, permite menor aquecimento do ar no ático. Além disso, a menor influência da subcobertura no forro trançado deve-se, provavelmente, pelo maior aprisionamento do ar no ático.

No período noturno, a situação se inverte, com os tratamentos com subcobertura mais aquecidos, podendo chegar a 1,0 °C nos forros fixados e apenas 0,7 °C nos forros trançados.

5.4.2 Influência do tipo de forro

A Tabela 33 mostra as diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar no ático a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura. As diferenças térmicas consideram a substituição do forro fixado pelo forro trançado (xT - xF).

Tabela 33 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar no ático a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura

		Efeito do tipo de forro							
		Sem subcobertura (Sx)				Com subcobertura (Cx)			
		S-BT	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	C-BF	Valor	Dia/hora
Máx.	Abs.	21,4	20,9	0,5	(2, 5h)	32,1	31,2	1,0	(1, 12h)
(aquec.)	Méd.	14,9	14,7	0,2	(17h a 0h)	20,3	19,9	0,5	(10h)
Mín.	Abs.	32,2	34,6	-2,4	(2, 13h)	22,5	22,9	-0,4	(2, 0h)
(resfr.)	Méd.	20,7	22,2	-1,5	(10h)	15,0	15,2	-0,2	(0h)
Méd.		-0,3				0,0			
σ		0,6				0,2			

NOTA:

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(Sx) – células sem subcobertura, variando apenas o tipo de forro

(Cx) - células com subcobertura, variando apenas o tipo de forro

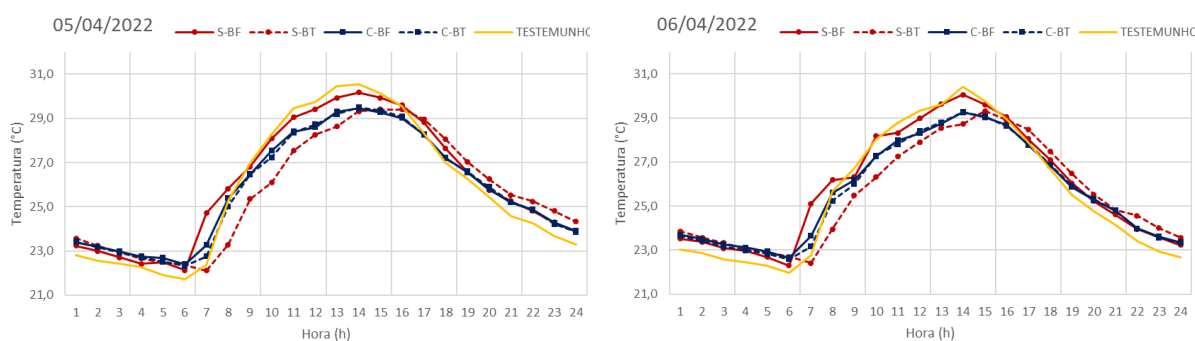
Fonte: autor, 2023

A análise comparativa entre células com mesma condição de subcobertura e diferente tipo de forro mostrou que o tipo de forro pouco influenciou no comportamento da temperatura do ar no ático, com diferenças médias de 0,5 °C, entre os forros. Já na condição sem subcobertura, o forro fixado se mostrou mais aquecido que o trançado, a diferença média foi de 1,5 °C enquanto a máxima absoluta foi 2,4 °C. Os maiores valores na linha de tendência foram referentes as células sem subcobertura. Dessa forma, a célula S-BF apresentou maior temperatura do ar no ático, enquanto nas células com subcobertura foram menores, não importando o tipo de forro.

5.5 Temperatura do ar no interior da célula-teste

O comportamento das temperaturas do ar interna nas cinco células-teste monitoradas são apresentados na Figura 50. A Tabela 34 sintetiza os dados por meio de estatística descritiva.

Figura 50 - Comportamento da temperatura do ar no interior das cinco células-teste nos dias 05 e 06/04/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 34 - Estatística descritiva da temperatura do ar no interior das cinco células-teste durante os dias de monitoramento

		S-BF	S-BT	C-BF	C-BT	Testemunho
Temp. Máx.	Abs.	30,2	29,4	29,4	29,5	30,6
	Méd.	20,1	19,6	19,6	19,6	20,3
Temp. Mín.	Abs.	22,1	22,1	22,4	22,3	21,7
	Méd.	14,8	14,8	15,0	15,0	14,6
Temp. Méd.		26,0	25,6	25,7	25,7	25,7
σ		2,6	2,4	2,3	2,4	3,0

NOTA:

Temp. Máx. - Temperatura superficial máxima

Temp. Mín. - Temperatura superficial mínima

Temp. Méd. - Temperatura superficial média

σ - desvio padrão

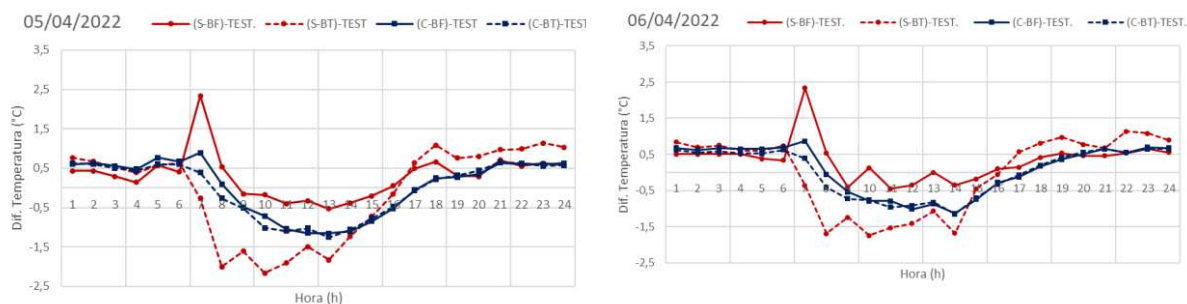
Fonte: autor, 2023

A partir dos resultados obtidos, observou-se que a aplicação do forro combinado com subcobertura em bambu resultou em alterações na variabilidade do ar interno nas células-teste, obtendo variação semelhante a célula-teste Testemunho. Na C-BF chegou a uma diferença máxima de 1,2 °C no dia 05/04/2022 às 12h e na C-BT 1,3 °C no mesmo dia e horário.

As células que possuíam apenas aplicação do forro apresentaram tendência de maior aquecimento no ar interno, com média máxima em torno de 20,1 °C, chegando a 30,2 °C (S-BF, no dia 1º dia, às 13h), enquanto a célula-teste testemunho alcançou 30,6 °C, no mesmo dia e horário.

A Figura 51 mostra as diferenças horárias da temperatura do ar interno entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, no período analisado, enquanto a Tabela 35 apresenta uma síntese dessas diferenças.

Figura 51 - Diferenças horárias da temperatura do ar interna entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho, nos dias 05 e 06/04/2022



Fonte: autor, 2023

Tabela 35 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar interna entre os tratamentos e a célula-teste Testemunho nos dias 05 e 06/04/2022

		S-BF		S-BT		C-BF		C-BT	
		Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora	Valor	Dia/hora
Máx. (aquec.)	Abs.	2,3	(2, 6h)	1,1	(1, 17h)	0,9	(2, 6h)	0,7	(1, 20h)
	Méd.	1,6	(6h)	0,7	(21h/22h)	0,6	(6h)	0,4	(20h a 3h)
Mín. (resfr.)	Abs.	-0,5	(1, 12h)	-2,2	(1, 9h)	-1,2	(1, 12h)	-1,3	(1, 12h)
	Méd.	-0,3	(10h)	-1,3	(9h)	-0,7	(11h a 13h)	-0,7	(12h/13h)
Méd.		0,2		0,0		0,0		0,0	
σ		0,4		0,7		0,5		0,4	

NOTA:

S-BF – Célula-teste sem subcobertura com forro fixado;

S-BT – Célula-teste sem subcobertura com forro trançado;

C-BF – Célula-teste com subcobertura com forro fixado;

C-BT – Célula-teste com subcobertura com forro trançado;

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados;

σ - desvio padrão;

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento.

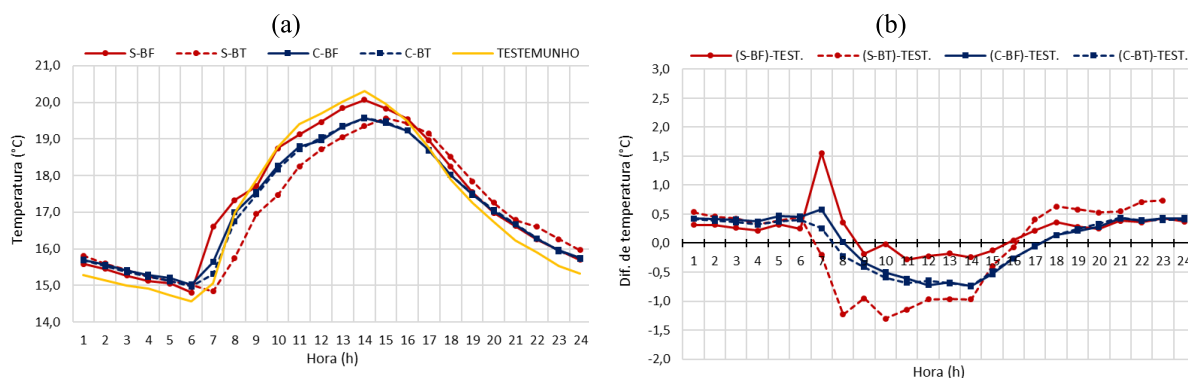
Fonte: autor, 2023

A análise dos dados evidencia variabilidade distinta entre os tratamentos com e sem subcobertura. Nas células-teste sem subcobertura, observou-se que o ar interno é menos aquecido no início da manhã, comparativamente à célula-teste Testemunho. A célula-teste com forro fixado (S-BF) apresentou melhor resultado, com diferença térmica média de 1,6 °C, chegando a 2,3 °C no dia 06/04/2022, às 6h. Esse resultado sugere que a aplicação do forro retarda o aquecimento do ar interno pela manhã, tornando-se mais aquecido no início da tarde (12h).

De modo inverso, nas células-teste com subcobertura, observou-se tendência a menor resfriamento no final da noite e início da manhã, com média em torno de $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, ao passo que o maior aquecimento tende a ocorrer ao meio-dia, horário de aquecimento mais acentuado do ar interno na célula-teste Testemunho.

A Figura 52 apresenta os valores médios horários da temperatura do ar interno nas células-teste no período analisado e as diferenças médias horárias da temperatura superficial na face interna dos forros de bambu nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho.

Figura 52 - (a) Valores médios horários da temperatura do ar no interior nas células-teste no período analisado e (b) diferenças médias horária da temperatura do ar nas quatro células-teste em relação à célula-teste Testemunho



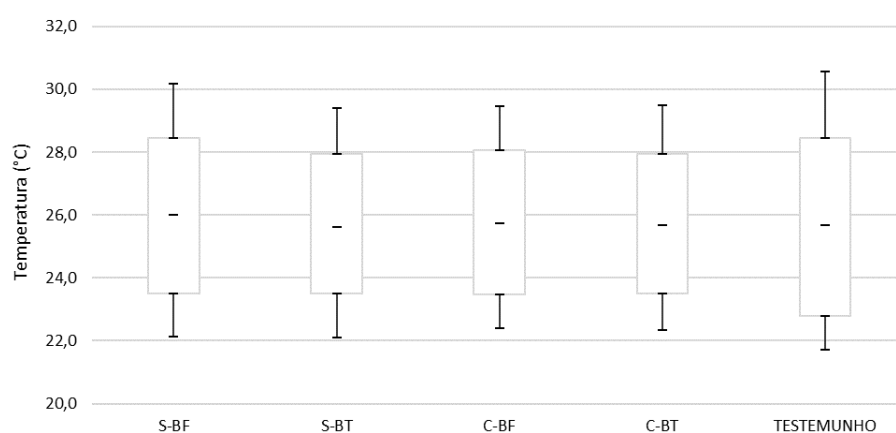
Fonte: autor, 2023

A análise da média horária da variabilidade da temperatura do ar interno evidencia a tendência de maior aquecimento das células-teste com aplicação do forro, sem subcobertura em comparação à célula-teste Testemunho, em especial a S-BT com diferenças absolutas de $2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ na S-BT, às 9h do primeiro dia e $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ na S-BT, no primeiro dia às 12h. Enquanto nas células C-BF e C-BT, tiveram diferenças de $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ na C-BF e $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ na C-BT, ambas no primeiro dia, às 12h. O maior aquecimento da células-teste com forro trançado ocorre a partir das 9h, enquanto na célula-teste com forro fixado ocorre às 12h. Entretanto, foi possível observar que, a partir das 14h, houve um acentuado resfriamento do tratamento com forro fixado, tornando a célula-teste com esse forro menos aquecida que a célula-teste Testemunho a partir das 18h, mantendo a temperatura do ar mais baixa em relação aos demais tratamentos durante toda a noite e madrugada. Na célula-teste com forro trançado e com subcobertura, o resfriamento foi menos intenso, igualando a temperatura com a célula-teste Testemunho apenas às 20h a partir desse horário, apresentando pouca diferença térmica em relação a esta durante toda a noite. Esse resultado sugere que a trama mais fechada do forro trançado dificulta a troca de ar com o ático e aumenta a troca de calor por radiação com a superfície interna da telha.

Os tratamentos com aplicação de forro combinado com subcobertura apresentaram maior resfriamento em relação à célula-teste Testemunho, entretanto as diferenças térmicas foram inferiores a 1,0 °C, com exceção da S-BF, que chegou a 1,6 °C às 6h.

A Figura 53 apresenta estatística exploratória (boxplot) do comportamento da temperatura superficial interna nas cinco células-teste durante os dias de monitoramento.

Figura 53 - Gráfico *boxplot* do comportamento térmico da temperatura do ar interna nas cinco células-teste nos dias 05 e 06/04/2022



Fonte: autor, 2023

A análise do gráfico mostra haver pouca diferença (abaixo de 0,2 °C) na variabilidade da temperatura do ar interna com a aplicação dos forros e da subcobertura.

5.5.1 Influência da subcobertura

A Tabela 36 apresenta as diferenças térmicas entre os tratamentos com o mesmo tipo de forro e variação na subcobertura, com a finalidade de analisar os efeitos térmicos da aplicação da subcobertura na variabilidade da temperatura do ar interno.

Tabela 36 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar interno a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de forro

		Efeito da instalação da subcobertura							
		Forro Fixado (xF)				Forro Trançado (xT)			
		C-BF	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	S-BT	Valor	Dia/hora
Máx.	Abs.	22,7	22,3	0,4	(2, 5h)	25,0	23,3	1,7	(1, 7h)
(aquec.)	Méd.	15,3	15,1	0,2	(3h a 5h)	16,7	15,7	1,0	(7h)
Mín.	Abs.	23,6	25,1	-1,5	(2, 6h)	27,2	28,1	-0,9	(1, 17h)
(resfr.)	Méd.	15,6	16,6	-1,0	(6h)	18,0	18,5	-0,5	(17h)
Méd.		-0,2				0,0			
σ		0,3				0,4			

NOTA:

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(xF) – células com ou sem subcobertura com o forro fixado

(xT) - células com ou sem subcobertura com o forro trançado

Fonte: autor, 2023

A análise dos dados permitiu observar que a aplicação da subcobertura resultou em tendência na redução da temperatura do ar interno, com média de 1,0 °C, com forro fixado, e 0,5 °C, com forro trançado, chegando a 1,5 °C e 0,9 °C nos respectivos forros. A influência da subcobertura na redução da temperatura do ar interno se evidencia no período diurno (início da manhã até o final da tarde), quando há o maior aquecimento do ar interno.

5.5.2 Influência do tipo de forro

A Tabela 37 mostra as diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar interno a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura. As diferenças térmicas consideram a substituição do forro fixado pelo forro trançado (xT - xF).

Tabela 37 - Diferenças térmicas absolutas e médias da temperatura do ar interno a partir de análise comparativa entre os tratamentos com mesmo tipo de cobertura/subcobertura

		Efeito do tipo de forro							
		Sem subcobertura (Sx)				Com subcobertura (Cx)			
		S-BT	S-BF	Valor	Dia/hora	C-BT	C-BF	Valor	Dia/hora
Máx. (aquec.)	Abs.	24,6	24,0	0,6	(2, 21h)	29,3	29,2	0,1	(1, 14h)
	Méd.	16,6	16,3	0,3	(21h a 23h)	19,0	18,9	0,1	(11h)
Mín. (resfr.)	Abs.	22,4	25,1	-2,7	(2, 6h)	23,2	23,6	-0,5	(2, 6h)
	Méd.	14,8	16,6	-1,8	(6h)	15,3	15,6	-0,3	(6h)
Méd.		-0,2				0,0			
σ		0,7				0,1			

NOTA:

Máx. (aquec.) - Temperatura superficial máxima referindo-se ao aquecimento da superfície do material;

Mín. (resfr.) - Temperatura superficial mínima referindo-se ao resfriamento da superfície do material;

Méd. - Temperatura superficial média durante todos os dias monitorados

σ - desvio padrão

Abs. (Temperatura superficial absoluta) – durante os dias de monitoramento

(Sx) – células sem subcobertura, variando apenas o tipo de forro

(Cx) - células com subcobertura, variando apenas o tipo de forro

Fonte: autor, 2023

A análise dos dados permitiu observar que os tipos de forro tiveram mais influência na variabilidade da temperatura interna do ar nas células sem subcobertura. A substituição do fixado pelo forro trançado resultou em leve aquecimento da temperatura do ar, em média, 1,8 °C, no tratamento sem subcobertura. No tratamento com subcobertura chegou a 0,3 °C. Em

valores absolutos, a maior diferença térmica foi de 2,7 °C, na célula-teste sem subcobertura. Nota-se que o forro fixado se manteve mais aquecido quando comparado sem a subcobertura.

5.6 Considerações finais do capítulo

Ao analisar a temperatura superficial na face interna da cobertura ou na subcobertura, as células-teste que receberam apenas o forro de bambu (S-BF e S-BT) apresentaram um aquecimento de até 5,0 °C na superfície interna da cobertura em comparação à célula testemunho. No entanto, a combinação de forro e subcobertura resultou em uma redução notável da temperatura na superfície interna da cobertura de até 8,0 °C em relação à célula testemunho.

A aplicação da subcobertura mostrou um atraso térmico de aproximadamente 2 horas em relação ao horário de maior aquecimento da superfície interna da cobertura. Nas células sem subcobertura, o aquecimento máximo ocorreu no início da manhã (6h a 7h), enquanto nas células com subcobertura, ocorreu no início da tarde (13h a 14h).

A influência do tipo de forro também foi observada, especialmente nos tratamentos sem subcobertura. O forro trançado apresentou uma tendência de aquecimento maior em comparação ao forro fixado de até 5,0 °C.

Analisando a temperatura superficial do forro de bambu, observou-se que os forros sem subcobertura apresentaram maior aquecimento, com temperaturas máximas de até 34,3 °C (S-BF) e 33,8 °C (S-BT), enquanto os forros com subcobertura registraram temperaturas máximas de até 31,8 °C (C-BF) e 33,0 °C (C-BT). Durante o período de monitoramento, as temperaturas máximas foram observadas entre 12h e 14h.

Esses resultados demonstram o potencial do uso de forro e subcobertura de bambu para melhorar o desempenho térmico de coberturas com telha de fibrocimento, proporcionando maior conforto térmico e redução da demanda de energia para resfriamento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a finalidade de investigar o desempenho térmico de forro e subcobertura em bambu em edificações na região do semiárido alagoano, foram analisados, nesta pesquisa, estes componentes aplicados em cobertura com dois tipos de telhas convencionais na região: telha cerâmica capa canal e telha de fibrocimento. Nesse sentido, foram analisados a variabilidade da temperatura superficial na face interna e externa da cobertura, como também na face interna dos forros e das subcoberturas de bambu. Além disso, foram analisados a variabilidade da temperatura do ar no ático do forro e no ambiente interno da célula-teste abaixo do forro de bambu. Os objetivos foram alcançados e os resultados do monitoramento de temperaturas internas em células-teste, evidenciando valores em horários diurnos mais aquecidos, no qual permitiram obter as seguintes conclusões acerca do desempenho térmico do forro e subcobertura de bambu como estratégia de condicionamento passivo na cidade em estudo:

Em relação a cobertura com a telha cerâmica, a análise dos valores médios da temperatura superficial na face interna da cobertura e na subcobertura de bambu, permitiram afirmar a tendência de maior aquecimento da superfície interna da cobertura nos tratamentos com apenas aplicação dos forros, com diferenças médias de 7,3 °C com forro fixado e 9,8 °C com forro trançado. Também foi possível observar que a instalação da subcobertura, proporcionou atraso térmico de 2h em relação ao horário de maior aquecimento dessa superfície.

Na cobertura com fibrocimento, apresentou resultado similar à cobertura cerâmica, a combinação de forro e subcobertura proporcionou redução notável na temperatura da superfície interna da cobertura com diferença média de 2,8 °C com forro fixado e 5,0 °C no trançado. Além de proporcionar um atraso térmico de até 3h em relação a instalação da subcobertura.

Ao analisar a temperatura superficial do forro, com a cobertura da telha cerâmica, a instalação da subcobertura apresentou pouco efeito no comportamento térmico, tendo diferença média abaixo de 0,7 °C entre ambos os forros. Enquanto nas células sem subcobertura, a diferença média entre os forros foi de 1,5 °C, com atraso térmico de 1h.

Utilizando a telha de fibrocimento foi o contrário. A utilização da subcobertura se mostrou mais favorável que as células apenas com os forros, tendo destaque com o forro fixado, apresentando uma diferença média de 2,3°C, enquanto o forro trançado apenas 0,2°C, com atraso térmico de 2h. Dessa forma, verificou-se que a instalação do forro de bambu fixado com

subcobertura resultou em diferenças significativas quanto à sua temperatura superficial direcionada para o interior da célula-teste.

Na análise da temperatura do ar no ático com a telha cerâmica, o tipo de forro pouco influenciou nos valores da temperatura do ar no ático com diferença média de até 0,6 °C entre ambos. Enquanto a instalação da subcobertura apresentou diferença média de 1,2 °C com forro fixado e 0,9 °C com forro trançado e atraso térmico de 1h.

Na telha de fibrocimento, esse resultado é diferente. O tipo de forro influenciou diretamente nos valores da temperatura do ar no ático com diferenças média de 2,3 °C com forro fixado e 1,0 °C com forro trançado, sem atraso térmico.

Na análise a temperatura do ar no interior da célula-teste, com a utilização da telha cerâmica, aplicação da subcobertura resultou em tendência na redução da temperatura do ar interno, com diferença média de 1,2 °C, com forro fixado, e 0,9 °C, com forro trançado. Enquanto a diferença entre os forros, alcançaram médias máximas de 0,6 °C.

A influência da subcobertura na redução da temperatura do ar interno se evidencia no período diurno (início da manhã até o final da tarde). Já no fibrocimento, a aplicação da subcobertura resultou na redução da temperatura do ar interno, com diferença média de 1,0 °C, com forro fixado, e 0,5 °C, com forro trançado.

O tipo de forro influenciou nos valores de temperatura, onde o forro fixado entre as células sem subcobertura (S-BF e S-BT) chegou uma diferença média de 1,8 °C, enquanto as células com subcobertura (C-BF e C-BT) chegaram a 0,1 °C, com atraso térmico de 4h.

A utilização a subcobertura para o contexto climático do semiárido alagoano, se mostrou favorável para ambos os tipos de cobertura analisados, chegando à diferença média de temperatura superficial de até 7,8 °C e 15,3 °C em termos absolutos ao meio-dia, quando o sol estava com altura mais elevada.

Quanto ao tipo de forro, o forro trançado evidenciou maior possibilidade de aprisionamento de ar no ático, pois sua trama mais fechada dificulta a troca do ar com o ático e aumenta a troca de calor por radiação com a superfície interna da telha. Dessa forma o seu uso durante o dia é bom, pois o ar quente acumulado no ático impede de chegar à parte interna, abaixo do forro e só será liberado em horários com menos radiação solar, como nos horários noturnos.

O forro fixado sem a utilização da subcobertura pode ser recomendado apenas para a cobertura com telha cerâmica, já que permite maior troca de calor por radiação com a superfície da cobertura, por ter sua malha mais aberta.

Na telha cerâmica, a temperatura do ar interno (abaixo do forro), chegou a uma diferença média de 0,8 °C (comparando a S-BF com a célula testemunho) enquanto na cobertura de fibrocimento essa diferença média chegou a 1,6 °C. Dessa forma, evidencia maior aquecimento na temperatura do ar na célula S-BF, comparada a célula testemunho sem forro e sem subcobertura.

A utilização do bambu como forro e subcobertura foi uma estratégia eficiente para evitar amplitude térmica elevada no ambiente interno, aspecto importante para obtenção do conforto térmico, podendo também contribuir para qualidade estética e ambiental urbana. Sobretudo, pode-se destacar a influência da cobertura.

A telha cerâmica possuiu uma alta capacidade de absorção de água, diferente da telha de fibrocimento, durante o dia a água acumulada na telha é gasta no processo de evaporação da água absorvida, tendo um atraso para que as telhas sejam aquecidas, enquanto a de fibrocimento tende a esquentar com mais rapidez, devido à falta de água absorvida pela telha. Assim, em condições muito áridas, mesmo sem subcobertura, o forro de bambu juntamente com a cobertura de telha cerâmica apresentará bons resultados, se mostrando uma solução interessante para habitações de baixo custo.

Dentre as limitações do trabalho, esteve a limitação do equipamento de coleta de dados de temperatura superficial (termopar com Arduino), que fora elaborado unicamente para a coleta de dados dessa pesquisa. Houve dificuldades no manuseio e problemas durante o armazenamento de dados no equipamento, por isso muitos dados foram perdidos e outros resgatados. Houve também a pandemia do COVID-19, que fora motivo de dificuldade em ter acesso às células-teste no Campus, atrasando o desenvolvimento e finalização da pesquisa. Além disso sugere-se a utilização de um equipamento aprimorado para a coleta de dados de temperatura superficiais, visto que o equipamento elaborado para a presente pesquisa apresentou falhas no que diz respeito ao armazenamento dos dados coletados.

Por fim, como pesquisas complementares a este estudo, pode ser abordado um período maior de coleta de dados com outros equipamentos termopares, a fim de ter mais dados a fim de comparar períodos não somente quentes, mas frios e úmidos também.

Explorar mais a utilização do bambu como forro e subcobertura, visto que demonstrou um grande potencial em suas propriedades térmicas.

Ainda como possíveis trabalhos futuros, a utilização de forros de bambu trançado e fixado em protótipos em escala real, analisando a variante da ventilação natural, que é uma importante estratégia bioclimática para a zona climática 8, onde Arapiraca está situada.

O presente trabalho destacou que o bambu pode desempenhar um papel importante no melhoramento do conforto térmico também em clima frio e úmido. Diante disso, o bambu é um material atrativo para investimentos em pesquisa e desenvolvimento, visando aprimorar suas propriedades ou explorar novas aplicações comerciais.

REFERÊNCIAS

- AKINWOLEMIWA, O.H.; BLEIL DE SOUZA, C.; DE LUCA, L.M.; GWILLIAM, J. Building community-driven vertical greening systems for people living on less than £1 a day: A case study in Nigeria. **Building and Environment**, v. 131, p. 277-287. Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.022>.
- AKINYEMI, BA; OMONIYI, TE. Effect of moisture on thermal properties of acrylic polymer modified mortar reinforced with alkali treated bamboo fibres. **Journal Of The Indian Academy Of Wood Science**, v.15, Issue 1, p. 45-51. Jun. 2018. DOI: doi.org/10.1007/s13196-018-0207-4.
- ALMEIDA, E.A. de.; PASSINI, R. Thermal behavior of alternative materials used as roof and efficiency of the reflective painting on the external face. **Revista Facultad de Ingenieria**, v. 2017, Issue 82, p. 68-73. Jan. 2017. DOI: 10.17533/udea.redin.n82a09
- BAMBI, G.; FERRAZ, P. F. P.; FERRAZ, G. A. S.; PELLEGRINI, P.; DI GIOVANNANTONIO, H. Measure of thermal transmittance of two different infill wall built with bamboo cultivated in Tuscany. **Agronomy Research**, v. 17, p. 923-934, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.19.130>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR-15575: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- BAMBI, G.; FERRAZ, P. F. P.; FERRAZ, G. A. S.; PELLEGRINI, P.; DI GIOVANNANTONIO, H. Measure of thermal transmittance of two different infill wall built with bamboo cultivated in Tuscany. **Agronomy Research**, v. 17, p. 923-934, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.19.130>.
- BRUGES, J. B.; VIEIRA, G.B.; RAVELO ORELLANA, D.; TOGO, I. Parameter of thermal resistance of bamboo multilayer wall. **Magazine of Civil Engineering**, n. 7 (83), p. 92-101, 2018. DOI: 10.18720/MCE.83.9.
- BRUGES, J. B.; VIEIRA, G.B.; RAVELO ORELLANA, D.; TOGO, I. Parameter of thermal resistance of bamboo multilayer wall. **Magazine of Civil Engineering**, n. 7 (83), p. 92-101, 2018. DOI: 10.18720/MCE.83.9.
- BRUGES, J.B.; VIEIRA, G.B.; RAVELO ORELLANA, D.; TOGO, I. Parameter of thermal resistance of bamboo multilayer wall. **Magazine of Civil Engineering**, n. 7 (83), p. 92-101, 2018. DOI: 10.18720/MCE.83.9.
- CADETE, E. S. Análise do desempenho térmico de coberturas e subcoberturas com materiais alternativos no contexto climático do semiárido alagoano. 2020. Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, 2020.
- CADETE, E. S., BARBOSA, R. V. R. Análise comparativa do desempenho térmico de forro pvc e de bambu para habitações de interesse social no clima semiárido. In: XV Encontro

Nacional de conforto no Ambiente Construído. XI Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. João Pessoa, 2019. **Anais [...]**. João Pessoa, 2019.

CAPES, **Portal de Periódicos da CAPES/MEC**. Website. 2021. Disponível em:

<<http://www-periodicos-capes-gov-br.ez67.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

CEMBRANEL, *et al.* Embalagens tetra pak® no isolamento térmicos de cobertura em edificações. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**. Florianópolis, v. 8, n. 1, p.388-404, jan/mar. 2019. DOI: 10.19177/rgsa.v8e12019388-404.

CIBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orienta vo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. 2ª Ed. Gadioli Cipolla Comunicação. Fortaleza, CE: 2013.

CORREA, M.P. Solar ultraviolet radiation: properties, characteristics and amounts observed in Brazil and South America, *An. Bras. Dermatol.* 90 (3) (2015) 297–313.

CUI, ZY; XU, M; CHEN, ZF; XIANG, JH. Experimental study on thermal performance of bamboo scrimber at elevated temperatures. **Construction And Building Materials**, v. 182, p. 178-187. Jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.124>.

DAHLAN, Nur Danilah; GHAFARIANHOSEINI, Amirhosein. Comparative study on the thermal environmental responses of indigenous bamboo and modern brick houses in hot-humid climate of Malaysia. **Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)**, v. 78:11, p. 173-181, 2016. DOI: <https://doi.org/10.11113/.v78.8041>.

DAHLAN, Nur Danilah; GHAFARIANHOSEINI, Amirhosein. Comparative study on the thermal environmental responses of indigenous bamboo and modern brick houses in hot-humid climate of Malaysia. **Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)**, v. 78:11, p. 173-181, 2016. DOI: <https://doi.org/10.11113/.v78.8041>.

DEMARTINO, C.; WANG, J.; LI, Y.; XIAO, Y. Experimental study on thermal performance of lightweight frame bamboo and wood walls. *Jianzhu Jiegou Xuebao/Journal of Building Structures*, v.40, Issue 9, p. 10-19. Oct. 2019. DOI: 10.14006/j.jzjgxb.2018.0021.

DING, Ding; XU, Qianqian; LIU, Chunlu; ZHANG, Dingxin. activation of traditional construction techniques used in Linpan based on the concept of sustainability: case study of bamboo materials. In: CHAN, Faith ka Shun; CHAN, Hing kai; ZHANG, Tiantian; XU, Ming (edit.). *Proceedings of the 2020 International Conference on Resource Sustainability: Sustainable Urbanisation in the BRI Era (icRS Urbanisation 2020)*, **Environmental Science and Engineering**, Singapore: Springer Nature Singapore Pte. Ltd, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-9605-6_12.

ELIZONDO, HA; LEBASSI, B; GONZALEZ-CRUZ, JE; ASME. Modeling and validation of building thermal performance of the 2007 santa clara university solar decathlon house. *Proceedings Of The 2nd International Conference On Energy Sustainability, The American Society of Mechanical Engineers (ASME)* v. 2, p. 279-286. Aug. 2008. Disponível em: <https://asmedigitalcollection.asme.org/proceedings>.

FRANSOZO, H.L. **Avaliação de desempenho térmico de habitações de baixo custo estruturadas em aço**. 2003. 274f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2003. CD-ROOM.

GAVIETA, R.C. Mass housing based on traditional design and indigenous materials for passive cooling in the tropical urban climate of the Philippines. **Energy and Buildings**, v. 16, Issue 3, p. 925-932. 1991. DOI: 10.1016/0378-7788(91)90087-j.

GRILLET, A.-C.; NGUYEN, D.M.; DIEP, T.M.H.; HA THUC, C.N.; WOLOSZYN, M. Hygrothermal properties of bio-insulation building materials based on bamboo fibers and bio-glues. **Construction and Building Materials**, v.155, p. 852-866. Set. 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.075>.

GUNA, V.; ILANGO VAN, M.; HU, C.; VENKATESH, K.; REDDY, N. Valorization of sugarcane bagasse by developing completely biodegradable composites for industrial applications. **Industrial Crops and Products**. v. 131, p. 25-31. Oct 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.011>.

HARIYADI, A.; FUKUDA, H.; MA, Q. The effectiveness of the parametric design ‘Sudare’ blind as external shading for energy efficiency and visibility quality in Jakarta. **Architectural Engineering and Design Management**, v.13, Issue 5, pp. 384-403. Mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/17452007.2017.1296811>.

HUANG, Zujian; SUN, Yimin. Hygrothermal performance comparison study on bamboo and timber construction in Asia-Pacific bamboo áreas. **Construction and Building Materials**, v. 271, 121602, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121602>.

HUANG, Zujian; SUN, Yimin. Hygrothermal performance comparison study on bamboo and timber construction in Asia-Pacific bamboo áreas. **Construction and Building Materials**, v. 271, 121602, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121602>.

HUANG, Zujian; SUN, Yimin; MUSSO, Florian. Assessment of bamboo application in building envelope by comparison with reference timber. **Construction and Building Materials**, v. 156, p. 844-860, 2017a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.026>.

INAMDAR, S.J.; PATIL, U.; LODAM, H. Thermal energy storage system using bamboo in combination with PCM. **International Journal of Engineering and Advanced Technology**, v. 8, Issue 6, p. 865-869. Oct. 2019. DOI: 10.35940/ijeat.F1163.0886S19.

JAMALUDIN, AA; ILHAM, Z; WAN-MOHTAR, WAQI; HALIM-LIM, SA; HUSSEIN, H. Comfortable Liveable Space: Shinning Container and Bamboo as Sustainable Building Materials in Equatorial Climate Perspective? **International Journal Of Built Environment And Sustainability**, v. 8, Issue 2, pp. 11-22. Apr. 2021. DOI: 10.11113/ijbes.v8.n2.728.

JING, L; QIU, X. The Thermal Performance Study of New Rammed-earth Dwelling in Rural Area in Anji, China. **SMART AND HEALTHY WITHIN THE TWO-DEGREE LIMIT (PLEA 2018)**, v.3, p. 1067-1068.

KANDYA, A.; MOHAN, M. Mitigating the Urban Heat Island effect through building envelope modifications. **Energy and Buildings**, v.164, p. 266-277. Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.014>.

KHAN, MS; RASHID, R. The Sustainable Architectural Principle of Traditional Bamboo Houses in Bangladesh. **Sustainable Architecture And Urban Development** (Saad 2010). v.4, p. 261-270. 2010.

LAPISA, Remon; K, Arwizet; MARTIAS; PURWANTONO; WAKHINUDDIN; SUPARNO; ROMANI, Zaid. Analysis of thermal effects of roof material on indoor temperature and thermal comfort. **International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology**, v. 10, n. 5, p. 2068-2074, 2020.

LEE, H.; YANG, S.; WI, S.; KIM, S. Thermal transfer behavior of biochar-natural inorganic clay composite for building envelope insulation. **Construction and Building Materials**, v. 223, p. 668-678. Oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.215>.

LI, Yushun; YAO, Jian; LI, Ran; ZHANG, Zhenwen; ZHANG, Jialiang. Thermal and energy performance of a steel-bamboo composite wall structure. **Energy and Buildings**, v. 156, p. 225-237, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.083>.

LUSTOSA, M. C. J.; ROSÁRIO, F. J. P. (orgs.). Desenvolvimento em regiões periféricas: a política dos arranjos produtivos em Alagoas. Maceió: EDUFAL, 2011.

LV, Qingfang; WANG, Weijang; LIU, Ye. Study on thermal performance of cross-laminated bamboo wall. **Journal of Renewable Materials**, v. 7, n. 11, p. 1231- 1250, 2019. DOI: [10.32604/jrm.2019.08345](https://doi.org/10.32604/jrm.2019.08345).

MA, Xinxin; CAI, Liping; CHEN, Lisheng; FEI, Benhua; LU, Jiping; XIA, Changlei; LAM, Su Shiung. Bamboo grid versus polyvinyl chloride as packing material in cooling tower: energy efficiency and environmental impact assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 286, 112190, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112190>.

MAO NGUYEN, D; GRILLET, A.-C.; BUI, Q.-B.; DIEP, T.M.H.; WOLOSZYN, M. Building bio-insulation materials based on bamboo powder and bio-binders. **Construction and Building Materials**, v. 186, p. 686-698. July 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.153>

MARÇAL, N. A. SILVA, R. M. SANTOS, C. A. G. SANTOS, J. S. Analysis of the environmental thermal comfort conditions in public squares in the semiarid region of northeastern Brazil, *Building and Environment* 152 (2019) 145–159.

MORAIS, Dirceu Medeiros de. Análise do conforto térmico em protótipos de habitações para usuários de baixa renda, com isolamento térmico reutilizando embalagens tetra pak: etapa 1. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2011, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte, MG, 2011.

MURAKAWA, S.; OO, C.; NISHINA, D.; SAKAUE, K.; KOSHIKAWA, Y.; YAKUSHIJIN, A. Study on the Indigenous Building Materials of Traditional Houses in Myanmar. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, v. 2, Issue 1, p. 161-168. Marc. 2003. DOI: <https://doi.org/10.3130/jaabe.2.161>.

NAN, XG; YAN, H; WU, RW; SHI, Y; BAO, ZY. Assessing the thermal performance of living wall systems in wet and cold climates during the winter. **Energy And Buildings**. v. 208. Dec. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109680>.

NANDAPALA, Kasun; HALWATURA, Rangika. Operational feasibility of a hybrid roof insulation system with bamboo and vegetation: an experimental study in tropical climatic conditions. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, e00616, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00616>.

NGUYEN, D.M.; GRILLET, A.C.; DIEP, T.M.H.; BUI, Q.B.; WOLOSZYN, M. Influence of thermo-pressing conditions on insulation materials from bamboo fibers and proteins based bone glue. **Industrial Crops and Products**, v.111, p. 834-845. Dez. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.009>.

NGUYEN, DM; GRILLET, AC; GOLDIN, T; DIEP, TMH; WOLOSZYN, M. Bamboo fiberboards and attapulgate: *does it lead to an improvement of humidity control in buildings?* 2nd International Conference On Sustainable Development In Civil, Urban And Transportation Engineering (Cute 2018). **Earth and Environmental Science** **143**, v. 143. 2018. DOI: 10.1088/1755-1315/143/1/012012.

PAIVA, R.L.M.; CALDAS, L.R.; MARTINS, A.P.S.; DE SOUSA, P.B.; DE OLIVEIRA, G.F.; FILHO, R.D.T. Thermal-energy analysis and life cycle ghg emissions assessments of innovative earth-based bamboo plastering mortars. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, Issue 18, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su131810429>.

PÁRRAGA, J.V.; COURET, D.G. Social housing in portoviejo. Indoor thermal environment. **REVISTA AUS** **26**, v. 2019, Issue 26, p. 35-41. Abr. 2018. DOI: 10.4206/aus.2019.n26-07.

PERALTA, G., **Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normalização específica**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 2006.

PIRES, M., WESTPHAL, F. Avaliação do impacto de subcoberturas no desempenho térmico de uma edificação residencial. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2014. Maceió. **Anais [...]**. Maceió, Alagoas: ENTAC, 2014.

REN, Q; ZENG, ZY; XIE, MJ; JIANG, ZW. Cement-based composite with humidity adsorption and formaldehyde removal functions as an indoor wall material. **Construction And Building Materials**. v. 247, Issue 0. March 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118610>.

SALZER, C.; WALLBAUM, H.; OSTERMEYER, Y.; KONO, J. Environmental performance of social housing in emerging economies: life cycle assessment of conventional and alternative construction methods in the Philippines. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, Issue 11, p. 1785-1801. July 2017. DOI: 10.1007/s11367-017-1362-3.

SANTOS, L. F. D. *et al.* Desempenho térmico de instalações para ovinos providas de forros térmicos confeccionados com materiais alternativos. In: Congresso técnico científico da engenharia e da agronomia – CONTECC 2016. **Anais...** Foz do Iguaçu – PR, 2016.

SCOPUS. **Scopus Preview**. Website. 2021. Disponível em: <<https://www.scopus.com/>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

SHAN, Qifeng; TONG, Keting; ZHANG, XIAOCUN; LI, Yushun. Field Test and simulation analysis on thermal performance of bamboo steel composite all in diferente climate regions. **Advances in Civil Engineering**, v. 2020, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8854156>.

SHAN, Qifeng; TONG, Keting; ZHANG, XIAOCUN; LI, Yushun. Field Test and simulation analysis on thermal performance of bamboo steel composite all in diferente climate regions. **Advances in Civil Engineering**, v. 2020, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8854156>.

SILVA, *et al.* Reaproveitamento de resíduos de embalagens Tetra-Pak® em coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.19, n.1, p.58–63, 2015. Campina Grande, PB. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p58-63>.

SILVA, M. F. Estratégias bioclimáticas para seis cidades alagoanas: contribuições para adequação da arquitetura ao clima local. 2019. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/5791>. Acesso em: 28 out. 2021.

SILVA, Mônica Ferreira da. Estratégias bioclimáticas para o agreste de Alagoas: diretrizes projetuais para edificações em Arapiraca. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, 2017. CD-ROOM.

SILVA, W. S. Desempenho do sistema de telhado verde como estratégia de condicionamento térmico passivo no semiárido alagoano. 2020. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/7479>. Acesso em: 28 out. 2021.

STANISLAS, TT; TENDO, JF; TEIXEIRA, RS; OJO, EB; KOMADJA, GC; KADIVAR, M; JUNIOR, HS. Effect of cellulose pulp fibres on the physical, mechanical, and thermal performance of extruded earth-based materials. **Journal Of Building Engineering**, v.39, Jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2021.102259>.

SUDENE-Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Institucional/Área de atuação. Recife, 2017. Disponível em: < <http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>>. Acesso em janeiro 2022.

SUTARJA, IN. The Application of Brick Wall and Bamboo Reinforced Concrete Frame for Redevelopment of Traditional Houses in Pengotan Village. Advanced Materials Engineering And Technology Ii. **Key Engineering Materials**, v. 594, p. 477-481. 2014. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.594-595.477>.

VICTORIA, J; MAHAYUDDIN, SA; ZAHARUDDIN, WAZW; HARUN, SN; ISMAIL, B. Bioclimatic design approach in Dayak traditional longhouse. International High-Performance Built Environment Conference - A Sustainable Built Environment Conference 2016 Series (Sbe16), Ithaca 2016. **Procedia Engineering**, v. 180, p. 562-570. 2017. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.215.

VIEIRA, G., BORODINECS, A., LIMA, M. Thermal Performance of Tetra Pak Package as a Ceiling Material. 2018. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg. Russia, 2018.

WEB OF SCIENCE.

Wijaksana, H.; Winaya, I.N.S.; Sucipta, M.; Ghurri, A. An Overview of Different Indirect and Semi-Indirect Evaporative Cooling System for Study Potency of Nanopore Skinless Bamboo as An Evaporative Cooling New Porous Material. **Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences** , v. 79, Issue 2, pp. 123-130 , Jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.37934/arfmts.76.3.109116>.

XIAO, Y.; WANG, J.S.; DEMARTINO, C.; LI, Y.Y. Thermal insulation performance of bamboo- and wood-based shear walls in light-frame buildings. **Energy and Buildings**, v. 168, p. 167-179. March 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.017>.

XU, Yanan; YANG, Zhenjing. Research on indoor thermal environment and enclosure's thermal characteristics of dwellings with muddy wall circled by bamboos. **Journal of Chongqing University**, v. 44, n. 3, mar. 2021. DOI: 10.11835/ji.ssn.1000-582X.2021.03.003.

YANG, M.; WANG, F.; ZHOU, S.; LU, Z.; RAN, S.; LI, L.; SHAO, J. Thermal and mechanical performance of unidirectional composites from bamboo fibers with varying volume fractions. **Polymer Composites**, v. 40, Issue 10, p. 3929-3937. Oct. 2019. DOI: 0.1002/pc.25253.

YANG, S; WI, S; LEE, J; LEE, H; KIM, S. Biochar-red clay composites for energy efficiency as eco-friendly building materials: Thermal and mechanical performance. **Journal Of Hazardous Materials**, v. 373, p. 844-855. March 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.079>.

ZHOU, H.; SUN, F.; LI, H.; ZHANG, W.; CHENG, H.; CHEN, L.; YU, Z.; CHEN, F.; WANG, G. Development and application of modular bamboo-composite wall construction. **BioResources**, v. 14, Issue 3, pp. 7169-7181. Oct. 2019. DOI: 10.15376/biores.14.3.7169-7181.