



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**DESENVOLVIMENTO DE PLACA DE ISOLAMENTO TÉRMICO A
PARTIR DA PALHA DE SOJA**

Laura Martini Zambiasi

Lajeado, dezembro de 2018.

Laura Martini Zambiasi

**DESENVOLVIMENTO DE PLACA DE ISOLAMENTO TÉRMICO A
PARTIR DA PALHA DE SOJA**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Rodrigo Spinelli.

Lajeado, dezembro de 2018.

Laura Martini Zambiasi

**DESENVOLVIMENTO DE PLACA DE ISOLAMENTO TÉRMICO A
PARTIR DA PALHA DE SOJA**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharela em Engenharia Civil:

Prof. Me. Rodrigo Spinelli - orientador
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Dr. Odorico Konrad
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Me. Douglas Ferreira Velho
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Lajeado, dezembro de 2018

RESUMO

Em busca de conforto térmico, a humanidade passou a utilizar equipamentos mecânicos que, como consequência, consomem grande quantidade de energia. Visando reduzir esse consumo, surgem no ramo da construção civil diversos materiais com a finalidade de isolamento térmico. Porém, muitos desses materiais empregam elevado consumo energético em sua fabricação, bem como geram gases nocivos ao meio ambiente. Essa situação motivou o desenvolvimento de placas de isolamento térmico a partir de material natural, qual seja, a palha de soja. O principal objetivo do estudo é analisar a influência das placas de isolamento térmico de argamassa com palha de soja no desempenho térmico do protótipo no qual as placas foram aplicadas. Analisou-se, pelo período de dois meses, os dados de temperatura externa e interna de três protótipos localizados no campus da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, na cidade de Lajeado/RS, com medidas de 60 x 60 x 64 cm, estando a diferença entre os protótipos no revestimento das fachadas, visto que o Protótipo I não possui revestimento, o Protótipo II é revestido com reboco e o Protótipo III com placas de argamassa com uma camada interna de palha de soja, visando o isolamento térmico. Os resultados de transmitância térmica comprovam que o Protótipo III atende a NBR 15575/2013, da ABNT, enquanto, a partir dos resultados de carga térmica, verifica-se a eficiência das placas de isolamento térmico, uma vez que houve redução de aproximadamente 60% em um dos dias analisados em relação a carga térmica do Protótipo I.

Palavras-chave: Conforto térmico. Eficiência energética. Isolamento térmico. Revestimento de fachada.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Benefícios devido a eficiência energética.	21
Figura 2 – Zoneamento bioclimático brasileiro.	26
Figura 3 – Carta bioclimática da cidade de Lajeado/RS.....	27
Figura 4 – Transferência de calor por condução entre partes do mesmo corpo.	29
Figura 5 – Sistema de transmissão de calor num fechamento opaco.	34
Figura 6 – EPS em placas.....	41
Figura 7 – XPS cortado em placas.....	42
Figura 8 – PUR em forma de placas e cilindro.	43
Figura 9 – Lã de vidro em rolo.....	44
Figura 10 – Lã de rocha em painéis rígidos.	45
Figura 11 – Vidro celular em diferentes formatos.....	46
Figura 12 – Sabugo de milho.	48
Figura 13 – Molde preenchido com granulado do caroço da espiga de milho.	48
Figura 14 – Bagaço de cana.	49
Figura 15 – Fibras de folhas de abacaxi.	50
Figura 16 – Protótipo desenvolvido a partir de casca de arroz.....	51
Figura 17 – Protótipo de girassol com cola óssea.....	52
Figura 18 – Protótipo construído a partir de palha.	53
Figura 19 – Palha de soja.....	53
Figura 20 – Localização dos protótipos.....	55
Figura 21 – Desenvolvimento das placas de isolamento térmico.....	57
Figura 22 – Fachada frontal (norte) do Protótipo I.....	58
Figura 23 – Fachada frontal (norte) do Protótipo II.....	58

Figura 24 – Fachada frontal (norte) do Protótipo III.....	59
Figura 25 – <i>FieldLogger</i>	60
Figura 26 – Sensor PT 100.	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Total de edifícios certificados pela AQUA-HQE (acumulado por ano). ...	19
Gráfico 2 – Estratégias de conforto térmico para a cidade de Lajeado/RS (média anual).	28
Gráfico 3 – Comparativo de temperaturas no dia 22/09/2018.	65
Gráfico 4 – Comparativo de temperaturas no dia 29 e 30/09/2018.	66
Gráfico 5 – Comparativo de temperaturas no dia 08/10/2018.	68
Gráfico 6 – Comparativo de temperaturas no dia 22/10/2018.	70
Gráfico 7 – Comparativo de temperaturas no dia 12/11/2018.	71
Gráfico 8 – Comparação das cargas térmicas dos Protótipos I, II e III no dia 29/09/2018.	81
Gráfico 9 – Contribuição das fachadas e da cobertura na carga térmica crítica dos Protótipos I, II e III, no dia 29/09/2018.	82
Gráfico 10 – Comparação das cargas térmicas dos Protótipos I, II e III no dia 12/11/2018.	84
Gráfico 11 – Contribuição das fachadas e da cobertura na carga térmica crítica dos Protótipos I, II e III, no dia 12/11/2018.	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Os princípios da construção sustentável.	17
Quadro 2 – Propriedades do silicato de sódio neutro.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Zonas bioclimáticas de algumas cidades do Rio Grande do Sul.....	26
Tabela 2 – Valores de ε para materiais da construção civil e pinturas.....	31
Tabela 3 – Valores de α para materiais da construção civil e pinturas.....	32
Tabela 4 – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura.....	36
Tabela 5 – Resistência térmica superficial externa e interna.....	37
Tabela 6 – Valores máximos de transmitância térmica para paredes externas.....	37
Tabela 7 – Propriedades térmicas de materiais isolantes térmicos.....	40
Tabela 8 – Dados para cálculo da transmitância térmica do Protótipo I.....	73
Tabela 9 – Área das seções e resistência térmica dos materiais das paredes do Protótipo I.....	73
Tabela 10 – Resistência térmica da camada de ar e dos materiais da cobertura.....	74
Tabela 11 – Valores utilizados na Equação 3 e resultados obtidos para a resistência total (R_T) dos elementos do Protótipo I.....	74
Tabela 12 – Resistência térmica total e transmitância térmica do Protótipo I.....	74
Tabela 13 – Dados para cálculo da transmitância térmica das paredes do Protótipo II.....	75
Tabela 14 – Área das seções e resistência térmica dos materiais das paredes do Protótipo II.....	76
Tabela 15 – Valores utilizados na Equação 3 e resultados obtidos para a resistência total (R_T) dos elementos do Protótipo II.....	76
Tabela 16 – Resistência térmica total e transmitância térmica das paredes do Protótipo II.....	76

Tabela 17 – Dados para cálculo da transmitância térmica das paredes do Protótipo III.	77
Tabela 18 – Área das seções e resistência térmica dos materiais das paredes do Protótipo III.	78
Tabela 19 – Valores utilizados na Equação 3 e resultados obtidos para a resistência total (R_T) dos elementos do Protótipo II.....	78
Tabela 20 – Resistência térmica total e transmitância térmica das paredes do Protótipo III.	78
Tabela 21 – Dados de radiação solar (W/m^2) incidente sobre planos verticais e horizontais para a Latitude 30° Sul, 22 de dezembro.	79
Tabela 22 – Dados utilizados para os cálculos dos fluxos de calor dos protótipos. ...	80
Tabela 23 – Fluxos de calor e carga térmica dos Protótipos I, II e III no dia 29/09/2018.	80
Tabela 24 – Fluxos de calor e carga térmica dos Protótipos I, II e III no dia 12/11/2018.	83

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

%	Por cento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAPEX	Associação Brasileira de Poliestireno Expandido
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
c	Calor específico
CFC	Clorofluorcarboneto
CIB	Conselho Internacional de Construção
cm	Centímetros
cm ³	Centímetros cúbicos
Conab	Companhia Nacional de Abastecimento
C _T	Capacidade térmica
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPS	Poliestireno expandido
g	Gramma
GBC	<i>Green Building Council</i>
h	Hora
HQE	<i>Haute Qualité Environnementale</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
J	Joule
k	Kilo
K	Kelvin
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LEED	<i>Leadership in Energy Environmental Design</i>
m	Metro
m ²	Metro quadrado

min	Minuto
mm	Milímetro
MME	Ministério de Minas e Energia
N	Newton
NBR	Norma Brasileira
NIH	Núcleo de Informações Hidrometeorológicas
ONU	Organização das Nações Unidas
PH	Potencial hidrogeniônico
PUR	Poliuretano
R _{AR}	Resistência térmica do ar
RS	Rio Grande do Sul
R _{SE}	Resistência térmica superficial externa
R _{SI}	Resistência térmica superficial interna
s	Segundo
T _{BS}	Temperatura de bulbo seco
T _{RM}	Temperatura radiante média
U	Transmitância térmica
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UR	Umidade relativa
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
USGBC	<i>United States Green Building Council</i>
W	Watts
WorldGBC	<i>World Green Building Council</i>
XPS	Poliestireno extrudado
°C	Grau celsius
λ	Condutividade Térmica
ρ	Densidade de massa aparente
ε	Emissividade
α	Absortância à radiação solar
φ	Atraso térmico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Tema	13
1.2 Problema	13
1.3 Hipótese	14
1.4 Objetivos	14
1.4.1 Objetivo geral	14
1.4.2 Objetivos específicos.....	14
1.5 Justificativa e relevância do trabalho.....	15
1.6 Estrutura do trabalho	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Sustentabilidade na construção civil	16
2.1.1 Construções sustentáveis.....	16
2.1.2 <i>Green Building</i>	17
2.1.3 Certificações ambientais na construção civil.....	18
2.1.3.1 Certificação LEED	18
2.1.3.2 Certificação AQUA-HQE	19
2.2 Eficiência Energética	20
2.3 Normas técnicas brasileiras de desempenho térmico.....	22
2.3.1 ABNT NBR 15220.....	22
2.3.2 ABNT NBR 15575.....	23
2.4 Conforto térmico	24
2.4.1 Zoneamento bioclimático brasileiro	25
2.5 Transferência de calor	28
2.5.1 Condução.....	29
2.5.2 Convecção	30
2.5.3 Radiação	30
2.6 Radiação solar	31
2.6.1 Absortância à radiação solar	32
2.6.2 Troca de calor através de paredes opacas	33
2.7 Condutividade térmica.....	34
2.8 Resistência térmica.....	35

2.9 Transmitância térmica	37
2.10 Carga térmica	38
2.11 Capacidade térmica.....	38
2.12 Atraso térmico	38
2.13 Isolamento térmico	39
2.13.1 Materiais para isolamento térmico de natureza sintética	41
2.13.2 Materiais para isolamento térmico de natureza mineral	44
2.13.3 Materiais para isolamento térmico de natureza vegetal	46
3 MATERIAIS E MÉTODOS	54
3.1 Localização dos protótipos	54
3.2 Materiais.....	55
3.2.1 Placas de isolamento térmico	55
3.2.2 Protótipos	57
3.2.3 Coleta de dados.....	59
3.3 Método.....	60
3.3.1 Cálculo da transmitância térmica	61
3.3.2 Cálculo da carga térmica	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
4.1 Análise de temperaturas.....	64
4.1.1 Dia 22 de setembro de 2018	64
4.1.2 Dia 29 de setembro de 2018	66
4.1.3 Dia 08 de outubro de 2018	68
4.1.4 Dia 22 de outubro de 2018	69
4.1.5 Dia 12 de novembro de 2018	71
4.2 Transmitância térmica	72
4.2.1 Protótipo I (tijolo sem revestimento)	72
4.2.2 Protótipo II (tijolo com reboco)	75
4.2.3 Protótipo III (tijolo com isolamento térmico)	77
4.3 Carga térmica	79
4.3.1 Dia 29 de setembro de 2018	80
4.3.2 Dia 12 de novembro de 2018	83
5 CONCLUSÃO	86
REFERÊNCIAS.....	88

1 INTRODUÇÃO

No intuito de obter conforto térmico nas edificações, uma das soluções encontradas pela humanidade foi a utilização de equipamentos mecânicos. Porém, tais equipamentos provocaram e continuam provocando impactos negativos no meio ambiente, em razão das emissões de gás carbônico e do alto consumo energético, acarretando elevados custos para o consumidor (MARCOS, 2015). Aditya et al. (2017) explicam que o setor da construção civil deveria garantir maior contribuição para a redução dessa energia consumida, em razão do alto consumo energético para fornecer conforto térmico.

Devido ao alto consumo de energia dos equipamentos, vislumbra-se a necessidade de utilizar racionalmente a energia, garantindo a eficiência energética. Segundo Moura e Motta (2013), para que essa eficiência seja alcançada existem soluções que podem ser elaboradas ainda na fase de projeto, implementadas na fase de construção ou adotadas na fase de utilização e operação da edificação, tornando possível racionalizar o elevado consumo de energia em edificações já existentes, mesmo que elas não tenham sido concebidas a partir de princípios sustentáveis. Marcos (2015) explica que uma opção para garantir essa eficiência é a utilização de soluções construtivas que apresentem uma transmitância térmica baixa, resultante do uso de materiais de isolamento térmico na envolvente do edifício.

Comumente, para a realização do isolamento térmico das edificações, são utilizados materiais derivados do petróleo ou de fontes naturais processadas com elevado consumo de energia. Esses materiais ocasionam efeitos negativos ao meio ambiente, principalmente na etapa de produção, devido ao alto consumo energético

e utilização de materiais não renováveis, e na etapa de descarte, devido aos problemas de destinação final dos materiais. Com a introdução de conceitos como sustentabilidade em projetos de edificações, há um maior incentivo para pesquisas direcionadas ao desenvolvimento de materiais isolantes térmicos e acústicos, fazendo uso de materiais naturais ou reciclados (ASDRUBALI; D’ALESSANDRO; SCHIAVONI, 2015).

Diante do exposto, vislumbra-se a necessidade de buscar e estudar materiais alternativos que possam ser utilizados como isolantes térmicos de modo eficiente e econômico. Ademais, os impactos negativos no meio ambiente requerem uma intervenção necessária nas práticas usuais da construção civil.

1.1 Tema

O tema a ser abordado no presente trabalho é o desenvolvimento de placas de isolamento térmico, através de material natural, para posterior aplicação em fachadas.

1.2 Problema

O interesse por questões relativas ao isolamento térmico e sua utilização em edificações vêm aumentando nos últimos anos, notadamente em razão da melhoria da eficiência energética que o sistema apresenta nas edificações. No entanto, grande parte dos materiais utilizados geram danos ao meio ambiente ou consomem elevada quantidade de energia em sua produção.

Com foco na sustentabilidade e na eficiência energética, surge a possibilidade de utilização de placas de revestimento feitas com elemento natural, a exemplo da palha de soja, eis que colheitas geram resíduos agrícolas que, por muitas vezes, são descartados por não terem outro destino. Ante o exposto, o presente trabalho busca elucidar se é viável – em relação ao desempenho térmico – a utilização de palha de soja em placas de isolamento térmico para posterior aplicação em edificações.

1.3 Hipótese

Neste contexto, pressupõe-se que seja viável a utilização de placas de isolamento térmico, do tipo sanduíche, compostas por elemento natural. Ademais, presume-se que o conjunto apresente boa transmitância térmica, atendendo a NBR 15575/2013, da ABNT.

1.4 Objetivos

Os objetivos desse trabalho dividem-se em objetivo geral e objetivos específicos.

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo relacionado a eficiência energética e conforto térmico em edificações, a partir do desenvolvimento de placas de isolamento térmico com utilização de material natural.

1.4.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

I – Analisar de forma comparativa diferentes tipos de revestimento de fachada com desenvolvimento de material para desempenho térmico utilizando matéria-prima natural, a partir da palha de soja;

II - Coletar dados de temperatura externa e temperatura interna de protótipos a partir da utilização de sensores, a fim de analisar os índices de conforto térmico;

III – Comparar os resultados de desempenho térmico e analisar se o material proposto contribui para a eficiência energética.

1.5 Justificativa e relevância do trabalho

O isolamento térmico é um assunto atual e de grande importância para a construção civil. Assim, estudou-se uma alternativa de material para isolamento térmico, com foco na sustentabilidade, melhoria da eficiência energética das edificações e economia financeira. A partir da construção dos protótipos e da análise dos dados de temperatura, tornou-se possível comprovar a eficiência energética devido a utilização de palha de soja em placas de isolamento térmico, possibilitando a utilização desse material sustentável no setor de construção civil.

1.6 Estrutura do trabalho

Este trabalho estrutura-se em cinco capítulos. O primeiro capítulo, após breve introdução, aborda elementos fundamentais, como o tema, o problema, a hipótese, os objetivos, a justificativa e a relevância do trabalho, bem como a estrutura do mesmo. Enquanto isso, o segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica, a qual abrange assuntos de grande importância para a área de pesquisa, como sustentabilidade na construção civil, eficiência energética, normas brasileiras sobre desempenho térmico, conforto térmico, transferência de calor, isolamento térmico, diferentes materiais com finalidade de isolamento térmico, entre outros. No terceiro capítulo, é especificada a metodologia utilizada no trabalho, assim como o método experimental para obtenção de dados de temperatura dos protótipos e os materiais utilizados na etapa experimental. O quarto capítulo apresenta as equações utilizadas para os cálculos, os resultados obtidos e as análises dos mesmos, considerando como base as normas que tratam do conforto térmico. Por fim, o quinto capítulo disserta sobre as conclusões referentes aos resultados obtidos e sobre sugestões para futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sustentabilidade na construção civil

Conforme Roaf, Fuentes e Thomas (2006), os edifícios apresentam-se como os poluentes mais nocivos do mundo, consumindo mais da metade da energia utilizada nos países considerados desenvolvidos e produzindo mais de 50% do montante de gases que têm modificado o clima mundial. Com base nesses dados, é evidente a necessidade de descobrir novas técnicas sustentáveis na indústria da construção civil.

2.1.1 Construções sustentáveis

Uma das mais importantes e conhecidas definições de desenvolvimento sustentável surgiu através do documento conhecido como Relatório Brundtland, que também pode ser encontrado com o título de *Our common future*, da Organização das Nações Unidas (ONU), em 1987. Segundo o Relatório Brundtland (1987, p. 24) “o desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades.”

Quanto ao conceito de sustentabilidade na construção civil, este também não é tão recente. Kibert (2013) afirma que, de modo mais abrangente, o termo construção sustentável engloba questões ecológicas, econômicas e sociais de uma construção no contexto de sua comunidade. O autor explica ainda que, em 1994, o Conselho

Internacional de Construção (CIB), hoje nomeado de Conselho Internacional de Pesquisa e Inovação na Construção, definiu os princípios da construção sustentável em sete, como mostra o Quadro 1, de modo que esses princípios deveriam fazer parte de todo ciclo de vida da edificação.

Quadro 1 – Os princípios da construção sustentável.

1. Reduzir o consumo de recursos (reduzir).
2. Reutilizar recursos (reutilizar).
3. Utilizar recursos recicláveis (reciclar).
4. Proteger a natureza (natureza).
5. Eliminar tóxicos (tóxicos).
6. Aplicar custo do ciclo de vida (economia)
7. Focar na qualidade (qualidade).

Fonte: Adaptado pela autora com base em Kibert (2013, p. 8).

2.1.2 Green Building

O *World Green Building Council* (WorldGBC) (2018) define o termo *Green Building*, em português traduzido como edifício verde, como sendo, tanto no seu design como na sua construção e operação, um edifício que seja capaz de reduzir ou eliminar os impactos negativos e que ainda consiga criar impactos positivos no ambiente natural e no clima. Ainda, o WorldGBC (2018), explica que os edifícios verdes prezam pela melhoria da qualidade de vida e pela preservação de recursos naturais preciosos.

Conforme Yudelson (2007), edifício verde é aquele que é construído levando em consideração cinco fatores, sendo eles:

- Promover a seleção de locais apropriados, assim como desenvolvimento local adequado e ambientalmente sustentável;
- Promover o uso eficiente de recursos de água;
- Conservar energia, utilizar energias renováveis e proteger os recursos atmosféricos;

- Conservar materiais de construção, reduzir o desperdício da construção e utilizar de forma sensata recursos da natureza;
- Proteger e melhorar a qualidade do ambiente interno.

Ainda, Yudelson (2007) explica que o edifício não precisa, necessariamente, ser construído considerando todos esses fatores, mas sim aqueles que sejam apropriados e satisfaçam as necessidades do projeto, assim como respeitem o orçamento do mesmo.

2.1.3 Certificações ambientais na construção civil

Valente (2009) afirma que as certificações na construção civil são ferramentas de suma importância, pois as mesmas estabelecem um processo de gerenciamento dos impactos causados pela edificação sobre o meio ambiente, solidificando a responsabilidade das partes envolvidas. Quanto as vantagens da certificação ambiental, Yudelson (2007) cita que as principais seriam assegurar a qualidade e garantir um processo de verificação do desempenho da edificação. No Brasil, existem dois sistemas de certificação ambiental que são mais adotados, sendo o primeiro a certificação *Leadership in Energy Environmental Design* (LEED) e o segundo a certificação Alta Qualidade Ambiental (AQUA-HQE).

2.1.3.1 Certificação LEED

A certificação LEED foi desenvolvida pelo *United States Green Building Council* (USGBC) (2017), de modo que o Conselho define o sistema de classificação LEED como sendo uma estrutura que identifica, implementa e avalia o design, a construção, as operações e a manutenção dos edifícios verdes e seu bairro. Ainda, para a USGBC (2017), a certificação LEED tem como objetivo incentivar a aceleração da adoção global de práticas sustentáveis e de edifícios verdes através da criação e implementação de uma referência mundialmente compreendida e aceita, englobando padrões, ferramentas e critérios de desempenho novos e existentes.

No Brasil, a entidade que representa, promove e define os padrões técnicos locais para a certificação LEED é a *Green Building Council Brasil* (GBC Brasil). De

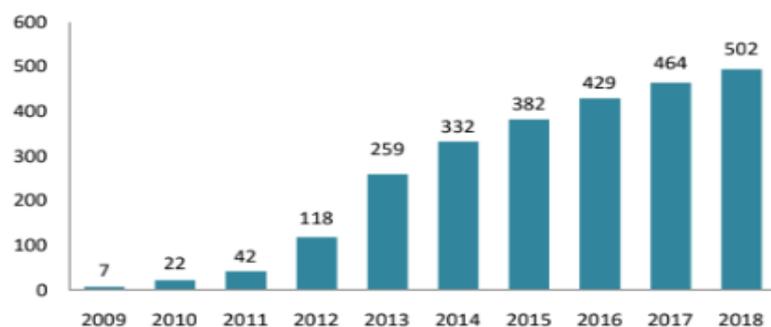
acordo com a GBC Brasil (2014), a certificação LEED pode ser aplicada em qualquer edifício, a qualquer momento. Ademais, o Conselho explica que os projetos que buscam ser certificados pela LEED são analisados em 8 dimensões, de modo que todas essas dimensões têm pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos (recomendações) que, conforme vão sendo atendidos, vão garantindo pontos à edificação. O conselho acrescenta ainda que o nível da certificação pode ser dividido em Certificado, *Silver*, *Gold* e *Platinum*, variando o nível alcançado de acordo com a quantidade de pontos adquiridos pelo edifício, de 40 a 110 pontos.

2.1.3.2 Certificação AQUA-HQE

O processo AQUA-HQE caracteriza-se por ser uma certificação internacional da construção sustentável, sendo essa certificação desenvolvida com base na certificação francesa *Démarche Haute Qualité Environnementale* (HQE) e aplicada no Brasil de forma exclusiva pela Fundação Vanzolini (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2015a).

A Fundação Vanzolini (2015b) esclarece que para a obtenção da certificação é necessário cumprir exigências de um Sistema de Gestão de Empreendimentos, de forma a permitir o planejamento, a operacionalização e controle das etapas de seu desenvolvimento e atender às 14 categorias de Qualidade Ambiental do Edifício. Ainda de acordo com a Fundação, a avaliação da qualidade ambiental deve ser feita, pelo empreendedor, nas etapas de pré-projeto, projeto e execução em construções novas e renovações, enquanto para edifícios em operação e uso deve ser realizada na fase de pré-projeto e, também, na fase de operação e uso periódicas. Atualmente, percebe-se um grande crescimento na busca pela certificação AQUA-HQE, como pode ser visto no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Total de edifícios certificados pela AQUA-HQE (acumulado por ano).



Fonte: Fundação Vanzolini (2018).

2.2 Eficiência Energética

A eficiência energética vem garantindo seu lugar internacionalmente como um recurso energético importante no contexto relacionado aos esforços para atingir metas sustentáveis (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY*, 2014b). Quanto ao conceito do termo eficiência energética, Soeiro (2011, p. 8) explica:

A eficiência energética pode ser definida como a otimização que podemos fazer no consumo de energia. Antes de se transformar em calor, frio, movimento ou luz, a energia sofre um percurso mais ou menos longo de transformação, durante o qual uma parte é desperdiçada e a outra, que chega ao consumidor, nem sempre é devidamente aproveitada. A eficiência energética pressupõe a implementação de estratégias e medidas para combater o desperdício de energia ao longo do processo de transformação: desde que a energia é transformada e, mais tarde, quando é utilizada.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014), contribuem explicando que a eficiência energética em edifícios se caracteriza por ser um atributo intrínseco à edificação que representa o potencial que o edifício tem de possibilitar conforto visual, térmico e acústico aos usuários, garantindo um consumo de energia baixo. Os autores enfatizam que a edificação se torna mais eficiente no quesito energético do que outro edifício comum, proporcionando as mesmas condições ambientais, porém com um consumo de energia reduzido.

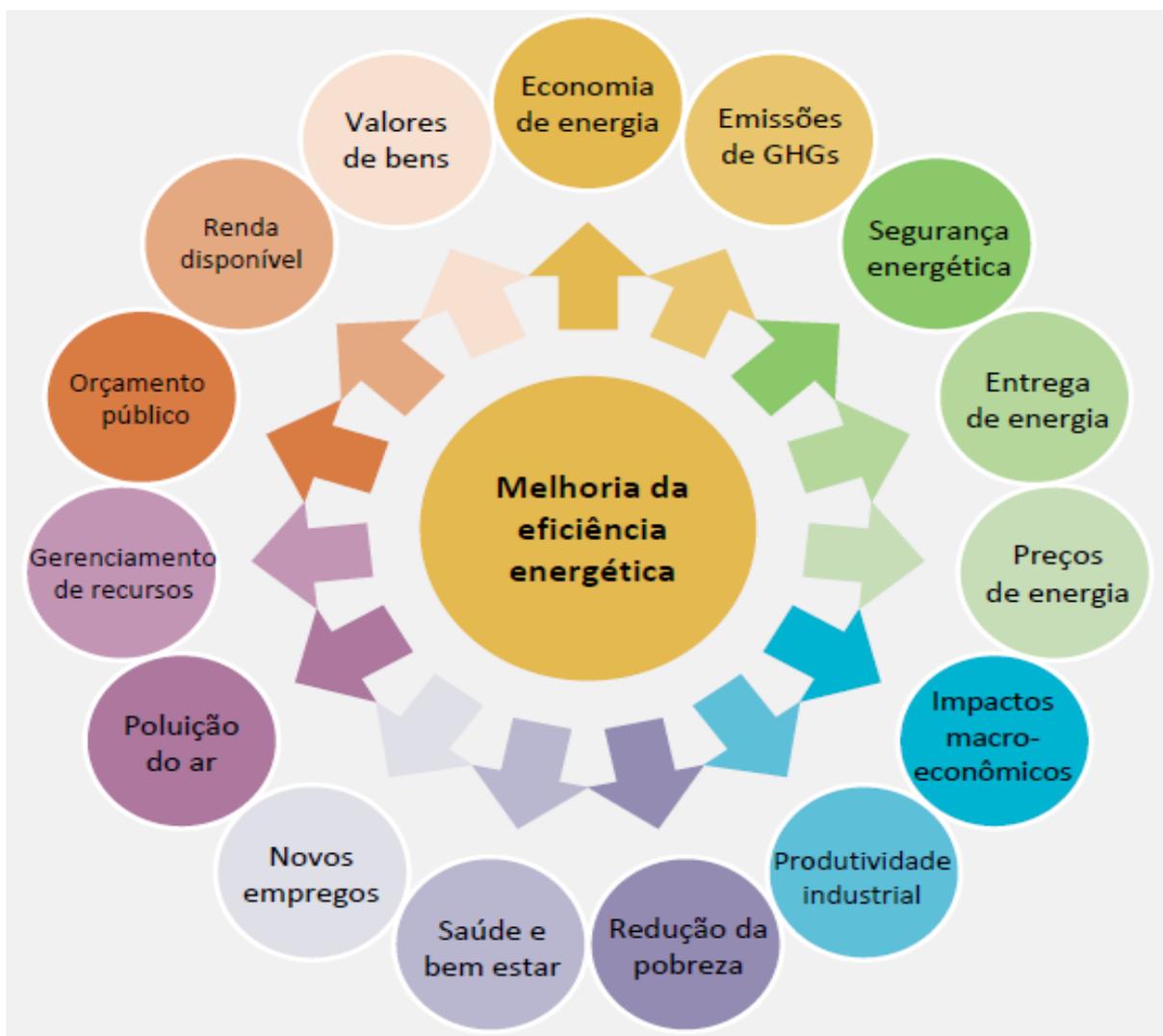
Para Omer (2007), a eficiência energética relaciona-se com o fornecimento de condições ambientais aspiradas enquanto o consumo de energia seja o mínimo possível. O autor explica que os edifícios são responsáveis por boa parte do consumo de energia no mundo, energia essa utilizada em sua maioria para fornecer iluminação, resfriamento, aquecimento e ar condicionado.

Na indústria da construção civil, Baltar, Kaehler e Pereira (2006) explicam que, a questão da eficiência energética deve ser considerada desde a fase de planejamento até a construção. Os autores destacam ainda que, atualmente, na maior parte das edificações não se considera a possibilidade de utilização de recursos naturais disponíveis para sua construção, desse modo, são construídas em concreto, não possuindo proteção contra insolação e não fazendo uso de materiais sem inércia térmica (materiais leves). No entendimento dos autores, essa prática gera um consumo maior de energia do que o necessário e por muitas vezes não garante um mínimo de conforto aos usuários.

Quanto ao consumo de energia, segundo dados da *International Energy Agency* (IEA) (2017), o setor de edificações é responsável por 30% da energia final consumida no mundo, sendo responsável também por mais de 55% da demanda de eletricidade global. Quando relacionado ao consumo de energia no Brasil, Borgstein e Lamberts (2014) relatam que este mesmo setor é responsável por 48% do consumo de energia elétrica.

A eficiência energética é de suma importância, pois é o meio mais econômico de gerar uma redução nas emissões de dióxido de carbono e ainda garantir uma melhora nas residências e empresas. Além disso, pode gerar outros benefícios (FIGURA 1) relacionados a questões sociais, econômicas e de saúde e bem-estar (OMER, 2007).

Figura 1 – Benefícios devido a eficiência energética.



Fonte: Adaptado pela autora com base em *International Energy Agency* (2014a, p. 20).

2.3 Normas técnicas brasileiras de desempenho térmico

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) desenvolveu duas normas relacionadas ao desempenho térmico de edificações, sendo elas:

- NBR 15220/2005: Desempenho térmico de edificações;
- NBR 15575/2013: Edificações habitacionais – Desempenho.

2.3.1 ABNT NBR 15220

A NBR 15220 foi publicada pela ABNT no ano de 2003, sendo corrigida posteriormente no ano de 2005. Essa norma divide-se em cinco partes:

- NBR 15220-1/2005 – Desempenho térmico de edificações: Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- NBR 15220-2/2005 – Desempenho térmico de edificações: Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- NBR 15220-3/2005 – Desempenho térmico de edificações: Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- NBR 15220-4/2005 – Desempenho térmico de edificações: Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- NBR 15220-5/2005 – Desempenho térmico de edificações: Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Na Parte 1 da NBR 15220/2005, da ABNT, são definidos os conceitos, os símbolos e as unidades relacionadas ao desempenho térmico de edificações, enquanto na Parte 2 dessa mesma norma são definidas as equações e os valores das propriedades térmicas dos materiais que constituem as edificações, assim como são disponibilizados exemplos com resolução fazendo uso desses cálculos. Quanto a

Parte 3 da norma, essa especifica um zoneamento bioclimático para o Brasil, assim como recomendações construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Em relação a Parte 4 da NBR 15220/2005, da ABNT, a mesma trata sobre a determinação, tanto da resistência térmica como da condutividade térmica, através do método da placa quente protegida. Por fim, na Parte 5 da norma, é explicado o processo de medição de resistência térmica e condutividade térmica através do método fluximétrico.

2.3.2 ABNT NBR 15575

A NBR 15575 teve sua publicação realizada no ano de 2013 pela ABNT, de modo que seu principal objetivo é atender as exigências das pessoas que fazem uso das edificações. Essa norma divide-se em seis partes:

- NBR 15575-1/2013 – Edificações habitacionais – Desempenho: Parte 1: Requisitos gerais;
- NBR 15575-2/2013 – Edificações habitacionais – Desempenho: Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- NBR 15575-3/2013 – Edificações habitacionais – Desempenho: Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- NBR 15575-4/2013 – Edificações habitacionais – Desempenho: Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVI;
- NBR 15575-5/2013 – Edificações habitacionais – Desempenho: Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;
- NBR 15575-6/2013 – Edificações habitacionais – Desempenho: Parte 6: Sistemas Hidrossanitários.

Vale salientar que apenas as Partes 1, 4 e 5 da norma são relacionadas ao desempenho térmico de edificações, sendo esse o foco deste trabalho. Desse modo, quando relacionado ao desempenho térmico, na Parte 1 da NBR 15575/2013, da ABNT, são explicados dois procedimentos para avaliação da adequação de

habitações, sendo o primeiro normativo (procedimento simplificado) e o segundo apenas informativo (medição). Na Parte 4 dessa mesma norma, são abordados tanto critérios como requisitos com a finalidade tornar possível uma verificação quanto aos níveis mínimos de desempenho térmico das vedações verticais contidas em paredes externas. Em relação à Parte 5 da NBR 15575/2013, da ABNT, essa especifica os requisitos para isolamento térmico da cobertura, assim como critérios de transmitância térmica, métodos de avaliação e nível aceitável de desempenho.

2.4 Conforto térmico

A NBR 15220-1/2005, da ABNT, define o conceito de conforto térmico como sendo a satisfação psicofisiológica de uma pessoa em relação as condições térmicas do ambiente em que se encontra.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) destacam que, antes iniciar o projeto, deve-se realizar um estudo do local e do clima, de modo que o projeto deve, de modo simultâneo, responder tanto à eficiência energética como ao conforto do usuário.

Monteiro e Mendonça (2003, p. 48) afirmam que o “conforto térmico engloba as componentes termodinâmicas que, em suas relações, se expressam através do calor, ventilação e umidade nos referenciais básicos a esta noção”. Complementa-se com Lamberts, Dutra e Pereira (2014) que explicam que as variáveis ambientais que apresentam influência sob o conforto térmica são: a temperatura do ar, a temperatura radiante, a umidade relativa e a velocidade do ar. Além dessas variáveis, os autores afirmam que a vestimenta e a atividade física também contribuem para a sensação de conforto térmico.

Quando relacionado a temperatura do ar, de acordo com Baltar (2006), essa corresponde a temperatura de bulbo seco (T_{BS}) do ar que se encontra em contato com o corpo de um indivíduo. Complementa-se com a ABNT, NBR 15220-1/2005 (p. 5), que define a temperatura de bulbo seco do ar como sendo a “Temperatura do ar medida por um termômetro com dispositivo de proteção contra a influência da radiação térmica”.

Em relação a temperatura radiante média (T_{RM}), de acordo com a NBR 15220-1/2005, da ABNT (p. 4), é a “Temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor do corpo humano por radiação é igual a troca de calor por radiação no ambiente real não uniforme”.

No que se refere a umidade relativa (UR) do ar, a NBR 15220-1/2005, da ABNT, define esse conceito como sendo o resultado da divisão entre a umidade absoluta do ar e a umidade absoluta do ar saturado para a mesma pressão atmosférica e temperatura.

No que diz respeito a velocidade do ar, Lamberts e Xavier apud Baltar (2006), explicam que essa caracteriza-se por ser um parâmetro definido por sua direção e magnitude, sendo que, em casos de ambientes térmicos, considera-se a velocidade efetiva do ar, isto é, a magnitude do vetor velocidade de fluxo no ponto de medição a ser considerado. Baltar (2006) explica que se torna necessário conhecer a velocidade do ar para a determinação tanto da transferência de calor por evaporação como por convecção.

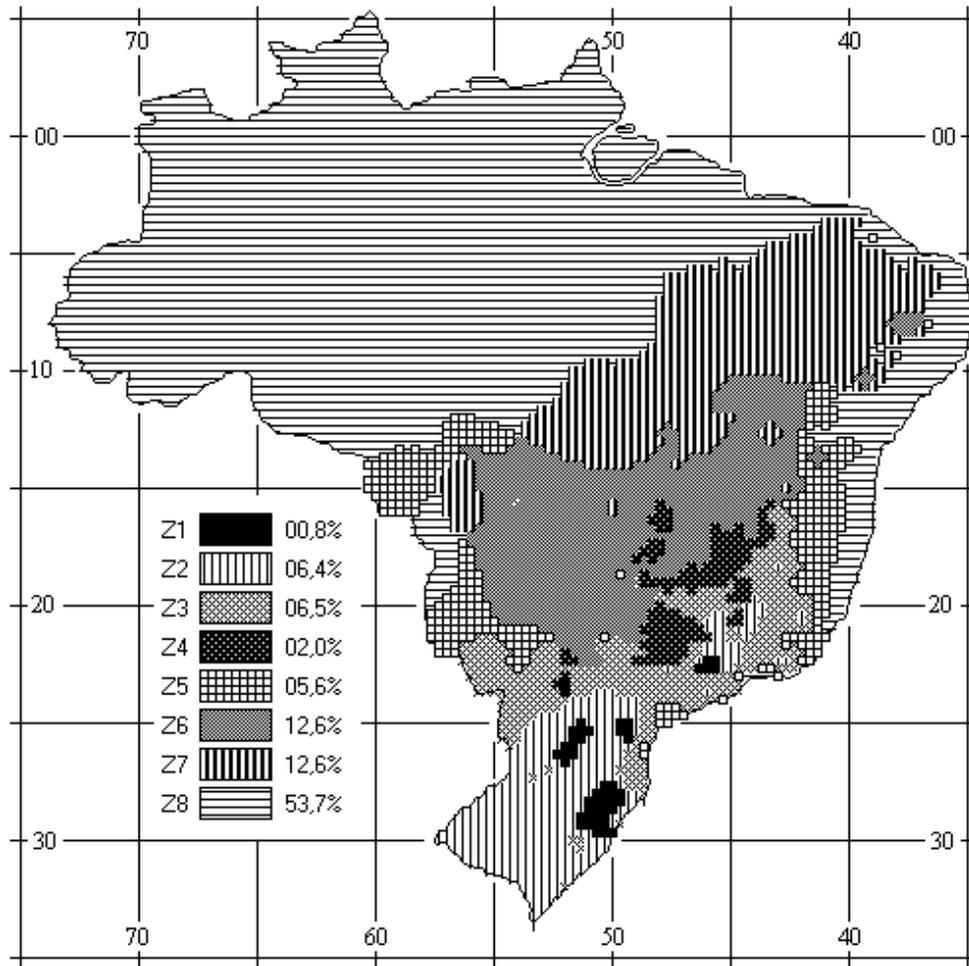
Quanto ao conceito de resistência térmica da vestimenta, Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 48) explicam:

[...] é de grande importância na sensação de conforto térmico do homem. Esta variável é medida em “*clo*”: do inglês *clothing*, sendo que 1 *clo* representa uma resistência térmica de 0,155 m².°C/W e equivalente à resistência térmica de um terno completo. A pele troca calor por condução, convecção e radiação com a roupa, que por sua vez troca calor com o ar por convecção e com outras superfícies por radiação.

2.4.1 Zoneamento bioclimático brasileiro

De acordo com a ABNT, NBR 15220-3/2005, a avaliação do desempenho térmico pode ser feita através de medições *in loco*, simulações computacionais ou então através de cálculos. Ainda, a norma explica que para otimizar o desempenho térmico das edificações considerando a melhor adequação do clima, dividiu-se o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas homogêneas (FIGURA 2), de modo que, para cada zona, foi formulado um conjunto de recomendações técnico-construtivas.

Figura 2 – Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: ABNT, NBR 15220-3/2005 (p. 3).

As condições de contorno e os parâmetros considerados para a formulação de diretrizes construtivas de cada zona bioclimática foram o tamanho das aberturas para ventilação, a proteção das aberturas, as vedações externas (tipo de parede externa e de cobertura) e as estratégias de condicionamento térmico passivo.

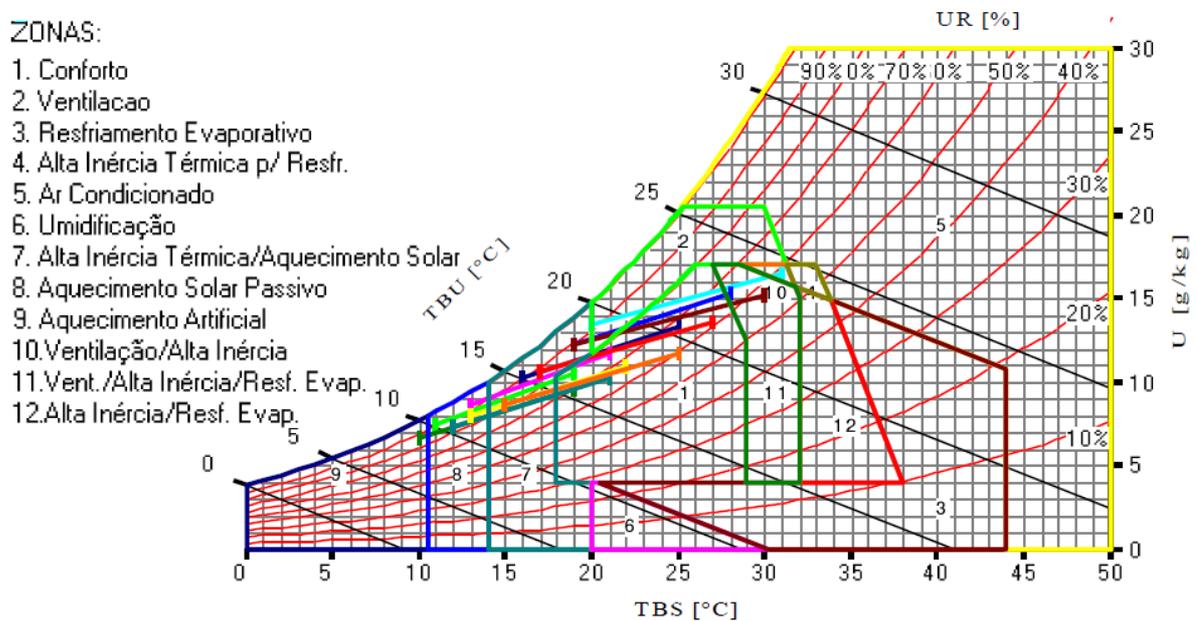
Tabela 1 – Zonas bioclimáticas de algumas cidades do Rio Grande do Sul.

Cidade	Zona Bioclimática
Porto Alegre	3
Caxias do Sul	1
Santa Maria	2
Alegrete	2
Pelotas	2
Torres	3

Fonte: Adaptado pela autora com base em ABNT, NBR 15220-3/2005 (p. 11).

Spinelli et al. (2017) realizaram um estudo relacionado ao clima da cidade de Lajeado/RS, analisando a temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica e velocidade e direção do vento. Nesse estudo, através do software Analysis Bio2, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), os autores elaboraram uma carta bioclimática (FIGURA 3) e apresentaram um relatório descrevendo as porcentagens de utilização das estratégias bioclimáticas para cada mês no intervalo de um ano.

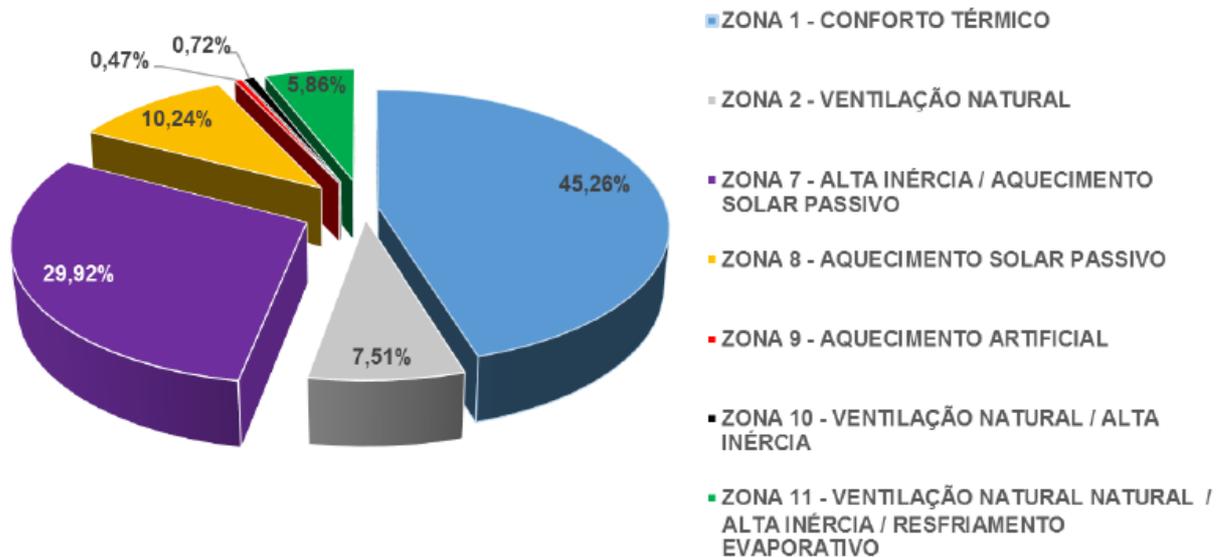
Figura 3 – Carta bioclimática da cidade de Lajeado/RS.



Fonte: Adaptado pela autora com base em Spinelli et al. (2017, p. 470).

A partir da carta bioclimática é possível visualizar que as estratégias adequadas a serem utilizadas na cidade de Lajeado/RS estão situadas nas zonas 1, 2, 7, 8, 9, 10 e 11, sendo essas as zonas de conforto, ventilação, alta inércia térmica/aquecimento solar, aquecimento solar passivo, aquecimento artificial, ventilação/alta inércia e ventilação/alta inércia/resfriamento evaporativo, respectivamente. Além disso, Spinelli et al. (2017) elaboraram um gráfico dos dados anuais de estratégias de conforto térmico (GRÁFICO 2), sendo possível visualizar quantos dias por ano torna-se necessário utilizar estratégias bioclimáticas na cidade de Lajeado/RS e quando não se torna necessário (zona 1). Além disso, pode-se visualizar no gráfico quais as medidas necessárias a serem adotadas.

Gráfico 2 – Estratégias de conforto térmico para a cidade de Lajeado/RS (média anual).



Fonte: Spinelli et al. (2017, p. 470).

Através do Gráfico 2 é possível concluir que em 45% dos dias do ano (equivalente a cerca de 165 dias) não é necessário realizar nenhuma estratégia de conforto térmico na cidade de Lajeado/RS.

2.5 Transferência de calor

Frota e Schiffer (2001), explicam que, para que seja possível compreender como acontece o comportamento térmico das edificações, é essencial ter uma base dos conceitos de fenômenos relacionados a trocas térmicas. Os autores esclarecem que através desse conhecimento, é possível também melhorar o entendimento relacionado ao clima e ao relacionamento entre meio ambiente térmico e organismo humano. Para que as trocas térmicas ocorram, parte-se de duas premissas, sendo a primeira a existência de corpos com diferentes temperaturas e a segunda a mudança de estado de agregação (FROTA; SCHIFFER, 2001).

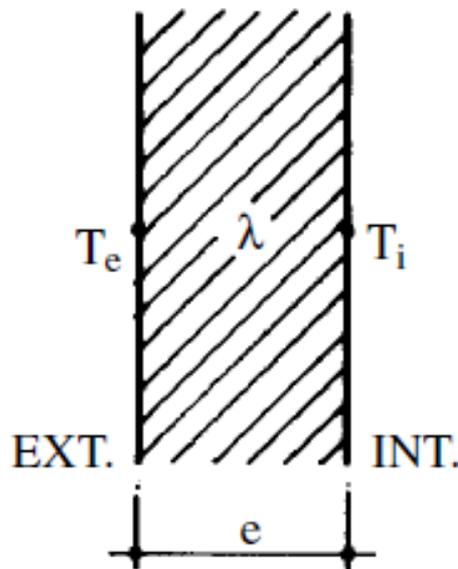
Corbella e Yannas (2009) afirmam que, quando dois corpos, sendo eles sólidos ou não, estiverem a diferentes temperaturas, a energia térmica do elemento de maior temperatura irá migrar para o de menor temperatura. Frota e Schiffer (2001) citam

como alguns dos tipos de transferência de calor a condução, a convecção e a radiação.

2.5.1 Condução

Frota e Schiffer (2001) explicam que a transferência de calor por condução ocorre quando dois corpos se tocam e encontram-se a temperaturas diferentes. Os autores salientam que essa transferência também pode acontecer em partes do mesmo corpo que se encontram em diferentes temperaturas (FIGURA 4).

Figura 4 – Transferência de calor por condução entre partes do mesmo corpo.



Fonte: Adaptado pela autora com base em Frota e Schiffer (2001, p. 34).

Para Corbella e Yannas (2009), diversos fatores influenciam a troca de calor por condução, de modo que será maior quanto:

- maior for a diferença de temperatura das superfícies que fazem a troca de calor;
- maior for a superfície através da qual é realizada a troca;
- menor for a distância entre as superfícies;
- melhor condutor for o material.

2.5.2 Convecção

Frota e Schiffer (2001) explicam que a transferência de calor por convecção ocorre quando se tem um corpo sólido e um corpo fluido a temperaturas diferentes, podendo esse corpo fluido ser líquido ou gás. Givoni (1998, p. 110) esclarece que:

A convecção é uma transferência de calor pelo movimento do fluido (na maioria dos casos ar). A troca de calor por convecção ocorre em várias situações, quando o calor é transferido de uma superfície sólida para o ar adjacente, e vice-versa, ou transferência de calor entre duas superfícies com diferentes temperaturas por meio de fluxo de ar.

Givoni (1998) acrescenta ainda que a transferência de calor por convecção pode ser de dois tipos:

- Convecção natural: ocorre devido a diferença de temperaturas;
- Convecção forçada: ocorre devido ao fluxo de ar forçado gerado por ventiladores ou ventos.

2.5.3 Radiação

Corbella e Yannas (2009) explicam que além dos mecanismos de condução e convecção, existe o mecanismo de transferência de calor por radiação. “Todas as superfícies dos corpos sólidos ou líquidos, ainda que à temperatura ambiente, emitem energia radiante (radiação infravermelha). Corpos de temperatura maior emitem mais quantidade de energia por unidade de área” (CORBELLA; YANNAS, 2009, p. 203).

Frota e Schiffer (2001) esclarecem que a transferência de calor por radiação ocorre entre dois corpos que estão a certa distância, através da capacidade dos materiais de absorver e emitir energia térmica. Frota e Schiffer (2001) complementam afirmando que esse tipo de troca ocorre devido à natureza eletromagnética da energia, pois no momento que essa é absorvida, ocasiona efeitos térmicos, permitindo que seja transmitida sem a necessidade de um meio para se propagar, podendo ocorrer até mesmo no vácuo.

Lamberts et al. (2016) destacam que a radiação pode ocorrer através de uma transformação dupla de energia, visto que parte do calor do corpo que apresenta

maior temperatura é convertida em energia radiante, a qual chega até o corpo com temperatura menor e é absorvida em uma proporção que irá depender das propriedades que a superfície receptora apresenta, sendo então transformada novamente em calor. É a emissividade (ϵ) do corpo que representa essas propriedades da superfície receptora.

A NBR 15220-2/2005, da ABNT, especifica valores de emissividade para radiações a temperaturas comuns de certos materiais da construção civil e para pinturas. Na Tabela 2 é possível visualizar esses valores.

Tabela 2 – Valores de ϵ para materiais da construção civil e pinturas.

Tipo de superfície	Emissividade (ϵ)
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Concreto aparente	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,90 / 0,98
Vidro incolor	0,84
Vidro colorido	0,84
Vidro metalizado	0,15 / 0,84
Pintura branca	0,90
Pintura amarela	0,90
Pintura verde clara	0,90
Pintura “alumínio”	0,50
Pintura verde escura	0,90
Pintura vermelha	0,90
Pintura preta	0,90

Fonte: Adaptado pela autora com base em ABNT, NBR 15220-2/2005 (p. 8).

2.6 Radiação solar

Frota e Schiffer (2001) definem a radiação solar como uma energia

eletromagnética com característica de onda curta, de modo que essa radiação é em parte absorvida pela atmosfera e o restante da mesma atinge a Terra. Os autores explicam que é na distribuição da temperatura do globo que a radiação solar causa maior influência. Frota e Schiffer (2001) acrescentam ainda que é em função da latitude e da época do ano que as quantidades de radiação são variadas.

Corbella e Yannas (2009) salientam que em climas tropicais, o fator principal que gera desconforto térmico é o aumento de calor devido a absorção de energia solar que atinge as superfícies de ambientes construídos. Desse modo, os autores alertam que, num projeto arquitetônico, o primeiro objetivo deve ser proteger a construção da radiação solar.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) afirmam que a principal fonte de energia que abastece o planeta é a radiação solar. Os autores ainda explicam que:

No movimento de translação, a Terra percorre sua trajetória elíptica em um plano inclinado de 23°27' em relação ao plano do equador. É este ângulo que define a posição dos trópicos e isto faz com que os dois hemisférios terrestres recebam quantidades distintas de radiação solar ao longo do ano, caracterizando as estações pelos solstícios de inverno e de verão [...] e pelos equinócios de outono e de primavera [...] (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 72).

2.6.1 Absortância à radiação solar

A absortância à radiação solar (α), segundo a ABNT, NBR 15220-1/2005 (p. 2), é o “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície”. Essa mesma norma especifica valores de absortância à radiação solar para alguns materiais da construção civil, assim como para diferentes pinturas, que podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de α para materiais da construção civil e pinturas.

(Continua)

Tipo de superfície	Absortância (α)
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Concreto aparente	0,65 / 0,80

Tabela 3 – Valores de α para materiais da construção civil e pinturas.

(Conclusão)

Tipo de superfície	Absortância (α)
Telha de barro	0,75 / 0,80
Tijolo aparente	0,65 / 0,80
Reboco claro	0,30 / 0,50
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25
Vidro colorido	0,40 / 0,80
Vidro metalizado	0,35 / 0,80
Pintura branca	0,20
Pintura amarela	0,30
Pintura verde clara	0,40
Pintura “alumínio”	0,40
Pintura verde escura	0,70
Pintura vermelha	0,74
Pintura preta	0,97

Fonte: Adaptado pela autora com base em ABNT, NBR 15220-2/2005 (p. 8).

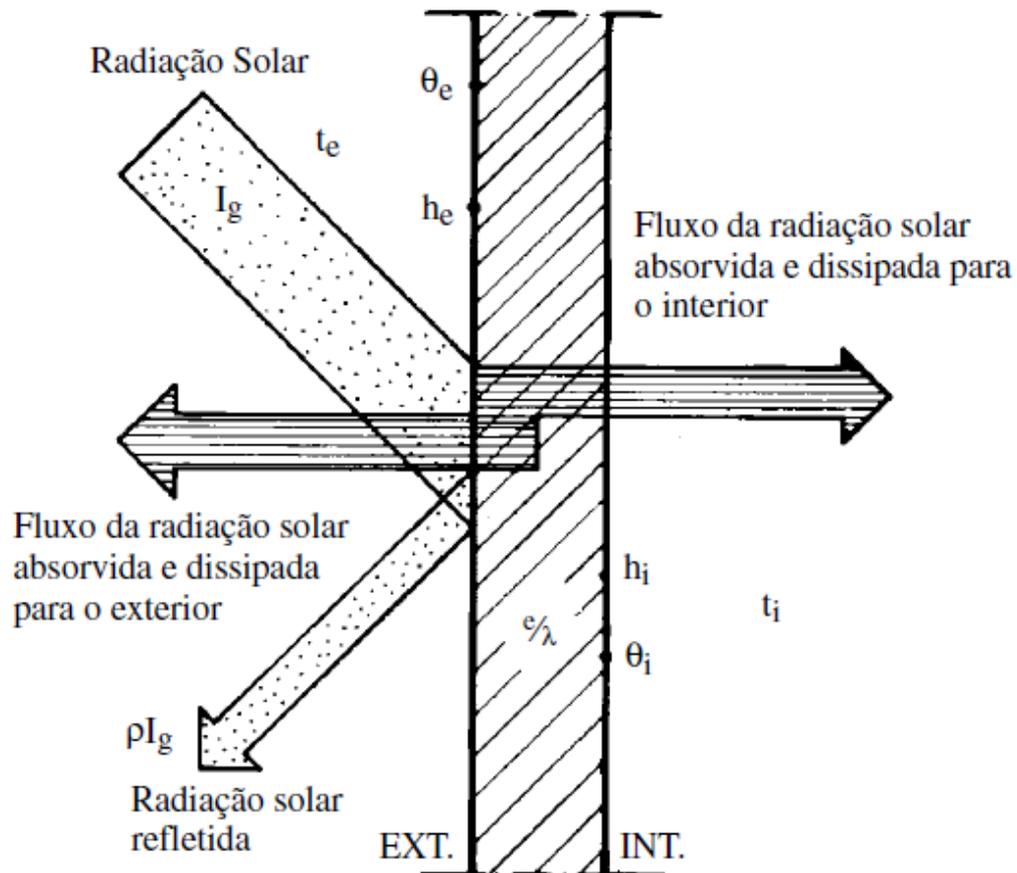
2.6.2 Troca de calor através de paredes opacas

Segundo Dornelles (2008), é através da incidência da radiação solar que os edifícios sofrem maior ganho térmico, desse modo, o modo natural e de maior eficácia é controlando e minimizando essa radiação solar que incide sobre o envelope construtivo ou ainda reduzindo a absorção dessa radiação pelo edifício. A autora explica ainda que o envelope do edifício se caracteriza por ser a divisa entre ambiente interno e externo, sendo composto por elementos transparentes e/ou translúcidos e opacos, de modo que esses elementos se comportam de forma diferente quanto à radiação solar. Quanto a definição desses elementos:

Os materiais transparentes e/ou translúcidos são aqueles que permitem a transmissão direta (ou difusa) de parte da radiação solar, enquanto os materiais opacos irão apenas absorver ou refletir essa radiação. Parte da energia absorvida será reirradiada para o ambiente externo, e o restante deste calor será conduzido para o interior do edifício (DORNELLES, 2008, p. 30).

Quanto a transferência de calor num fechamento opaco (FIGURA 5), essa ocorre quando existem temperaturas entre as superfícies internas e externas diferentes, de modo que o sentido do fluxo sempre acontecerá do mais quente para o menos frio (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 197)

Figura 5 – Sistema de transmissão de calor num fechamento opaco.



Fonte: Frota e Schiffer (2001, p. 42).

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) explicam ainda que os materiais isolantes térmicos possuem baixa densidade (são muito porosos). Os autores complementam explicando que esses poros contêm ar, o qual apresenta baixa condutividade térmica, sendo possível, com a utilização desses materiais, reduzir a transferência de calor.

2.7 Condutividade térmica

A condutividade térmica (λ) é definida como a "propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com

densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro quadrado” (ABNT, NBR 15220-3/2005, p. 2).

De modo simplificado, Corbella e Yannas (2009) definem a condutividade térmica como sendo a capacidade que um material apresenta para conduzir maior ou menor quantidade de energia térmica. Enquanto isso, Gomes apud Frota e Schiffer (2001, p. 35) caracteriza a transferência por condução como:

“O fluxo de calor que passa, na unidade de tempo, através da unidade de área de uma parede com espessura unitária e dimensões suficientemente grandes para que fique eliminada a influência de contorno, quando se estabelece, entre os parâmetros dessa parede, uma diferença de temperatura unitária.”

Frota e Schiffer (2001) explicam que o coeficiente de condutividade térmica depende de três fatores, sendo o primeiro a densidade do material, o segundo a natureza química do material e o último a umidade do material. Quanto a densidade, a natureza química e a umidade do material, Frota e Schiffer (2001, p. 35) explicam, para os respectivos fatores, que “a matéria é sempre muito mais condutora que o ar contido em seus poros”; “os materiais amorfos são geralmente menos condutores que os cristalinos”; e “a água é mais condutora que o ar”.

2.8 Resistência térmica

A resistência térmica, segundo a ABNT, NBR 15220-1/2005 (p. 2), é definida como o “quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário”. De modo mais simplificado, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) explicam que a resistência térmica é a propriedade de um material em resistir à passagem do calor. Os autores afirmam ainda que a resistência em relação à passagem de calor do material será maior quanto maior for a espessura de um material, do mesmo modo que, quanto maior for o valor de condutividade térmica de um material, maior será o calor transferido entre superfícies e, conseqüentemente, uma resistência térmica menor.

A NBR 15220-1/2005, da ABNT, explica que a resistência térmica pode ser calculada para materiais homogêneos e heterogêneos, câmaras de ar ventiladas e não ventiladas, de superfície a superfície e de ambiente a ambiente. Para calcular a

resistência térmica de materiais homogêneos e heterogêneos, de ambiente a ambiente e para componentes com câmara de ar ventilada, a NBR 15220-1/2005, da ABNT, especifica uma série de equações, enquanto para a resistência térmica superficial e de câmaras de ar não ventiladas, a norma especifica valores de resistência através de tabelas.

Em relação a resistência térmica de camadas de ar não ventiladas, a ABNT, NBR 15220-1/2005, disponibiliza uma tabela (TABELA 4) com os valores de resistência relacionadas à sua emissividade e a espessura de camada de ar.

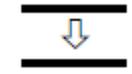
Tabela 4 – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura.

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

Fonte: Adaptado pela autora com base em ABNT, NBR 15220-2/2005 (p. 8).

Quanto a resistência térmica superficial interna e externa, a NBR 15220-1/2005, da ABNT (p. 2), as conceitua, respectivamente, como “Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície interna de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção” e “Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície externa de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção”. Na Tabela 5 é possível visualizar os valores de resistência térmica de superfícies especificados pela ABNT, NBR 15220-2/2005.

Tabela 5 – Resistência térmica superficial externa e interna.

Resistência térmica superficial externa (R_{SE}) ($m^2.K/W$)			Resistência térmica superficial interna (R_{SI}) ($m^2.K/W$)		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
					
0,04	0,04	0,04	0,13	0,10	0,17

Fonte: Adaptado pela autora com base em ABNT, NBR 15220-2/2005 (p. 8).

2.9 Transmitância térmica

A transmitância térmica ou coeficiente global de transferência de calor (U), segundo a NBR 15220-1/2005, da ABNT, é definida como o inverso da resistência térmica total. Roriz (2008, p. 13) explica que a transmitância térmica “é definida como o fluxo de calor que, na unidade de tempo e por unidade de área, passa através do componente, para uma diferença unitária entre as temperaturas do ar em contato com cada uma das faces desse mesmo componente”.

A NBR 15575-4/2013, da ABNT, especifica os valores máximos admissíveis para transmitância térmica de paredes externas conforme as zonas bioclimáticas estabelecidas pela NBR 15220-3/2005, também da ABNT. Na Tabela 6 é possível visualizar esses valores.

Tabela 6 – Valores máximos de transmitância térmica para paredes externas.

Transmitância térmica (W/m^2K)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

Fonte: Adaptado pela autora com base em ABNT, NBR 15575-4/2013 (p. 26).

2.10 Carga térmica

A carga térmica é definida por Lamberts, Dutra e Pereira (2014) como sendo a soma do calor latente e do calor sensível que é retirado ou fornecido ao ar durante um processo. Os autores definem o conceito de calor sensível como a quantidade de calor que é necessária para que ocorra um aumento (ou redução) na temperatura de alguma substância, sem que haja mudança de estado, como, por exemplo, o ar ambiente, o qual varia a temperatura, porém não é alterada a umidade absoluta. Ainda, os autores supramencionados definem o conceito de calor latente como a quantia de calor absorvida (ou rejeitada) por uma substância para alterar de estado, mantendo constante a sua temperatura, de modo que, no exemplo do ar ambiente, é a quantia necessária de calor para que uma quantidade de água seja evaporada, ou então, a quantia gerada de calor na condensação do vapor d'água do ar.

2.11 Capacidade térmica

A capacidade térmica (C_T) é definida como a “quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema” (ABNT, NBR 15220-1/2005, p.2). De modo mais simplificado, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) explicam, que a capacidade térmica é uma propriedade que indica sua menor ou maior capacidade de reter calor. Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 220) complementam ainda dizendo que “um material de grande capacidade térmica necessita de uma grande quantidade de calor para variar de um grau de temperatura seus componentes por unidade de área.”

A capacidade térmica pode ser calculada, de acordo com a ABNT, NBR 15220-2/2005, para componentes com camadas homogêneas e para componentes com camadas heterogêneas.

2.12 Atraso térmico

O atraso térmico (φ) pode ser definido como o “tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor”

(ABNT, NBR 15220-1/2005, p. 2). De modo simplificado, Tamanini (2002), define o atraso térmico como a diferença de horas entre a máxima temperatura externa e a máxima temperatura interna. O atraso térmico pode ser calculado, segundo a NBR 15220-2/2005, da ABNT, para elementos homogêneos e elementos heterogêneos, sendo sua unidade de medida em horas (h).

2.13 Isolamento térmico

Para Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015), a função dos materiais e sistemas de isolamento térmico é gerar uma redução na transmissão do fluxo de calor. Os autores explicam ainda que, quanto ao desempenho de isolamento térmico dos materiais, avalia-se a questão da condutividade térmica e da transmitância térmica, de modo que para um material ser considerado isolante térmico ele deve apresentar um valor menor que 0,07 W/m.K.

Quanto a utilização de isolamento térmico em edificações, Habib (2014, p. 31) afirma:

Com o aumento do custo da energia e da demanda, o uso de isolamento térmico em edifícios torna-se mais crítico em novas construções, particularmente em climas quentes. A transferência de calor por condução, através da envolvente do edifício representa um componente importante da carga térmica total das edificações. A utilização de isolamento térmico de forma eficiente pode promover uma redução significativa da carga térmica, com a consequente diminuição do consumo geral de energia elétrica.

Em relação aos materiais utilizados como isolantes térmicos em edificações, Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015) enfatizam que, normalmente, são utilizados materiais oriundos de produtos petroquímicos ou então de fontes naturais, porém, quanto a essa última opção, apesar de os materiais serem de origem natural eles são processados fazendo uso de alto consumo de energia. Para os autores, a utilização desses tipos de materiais ocasiona efeitos danosos expressivos sobre o meio ambiente.

A ABNT, NBR 15220-2/2005, especifica valores de propriedades térmicas para diversos materiais relacionados à construção civil, dentre eles estão alguns tipos de aço, argamassas, concretos, gessos, metais, plásticos, materiais impermeabilizantes etc. Na Tabela 7 é possível visualizar as propriedades dos materiais isolantes

térmicos, a qual apresenta os valores de densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) para cada material.

Tabela 7 – Propriedades térmicas de materiais isolantes térmicos.

Isolantes Térmicos	ρ (kg/m³)	λ (W/m.K)	c (kJ/kg.K)
Lã de rocha	20-200	0,045	0,75
Lã de vidro	10-100	0,045	0,70
Poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
Poliestireno extrudado	25-40	0,035	1,42
Espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67

Fonte: Adaptado pela autora com base em ABNT, NBR 15220-2/2005 (p. 9).

Primo (2008) salienta que as soluções mais eficientes de isolamento térmico são: sistemas de isolamento térmico pelo interior; elementos construtivos (blocos ou painéis) feitos a partir de materiais com baixa condutividade térmica; e sistemas de isolamento térmico pelo exterior. Contudo, o autor esclarece que a solução de qualidade mais elevada é a de sistema de isolamento térmico pelo exterior.

Quanto ao isolamento térmico de fachadas feito pelo exterior, Primo (2008) classifica-os em dois grupos, sendo o primeiro composto por um sistema de isolamento térmico com lâmina de ar ventilada entre o isolante e o revestimento e o segundo composto por um sistema de isolamento térmico sem lâmina de ar. O autor explica que esses dois grupos apresentam diferentes funções, visto que o isolante de um sistema com lâmina de ar realiza apenas a função de isolamento térmico, enquanto no sistema sem lâmina de ar o isolante terá, além da função de isolamento térmico, a função de servir de suporte para o revestimento assim como ter participação na estanqueidade do conjunto.

De acordo com Silva (1996), os materiais de isolamento térmico podem ser divididos, de acordo com a sua natureza, em três grandes grupos, sendo eles:

- Materiais de natureza sintética;
- Materiais de natureza mineral;
- Materiais de natureza vegetal e animal.

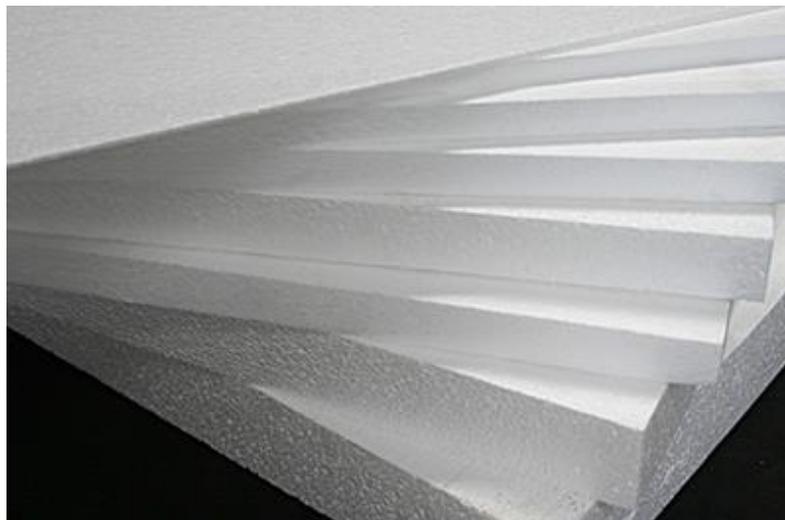
2.13.1 Materiais para isolamento térmico de natureza sintética

Silva (2013, p. 6) explica que “Os isolantes térmicos de origem sintética são materiais fundamentalmente produzidos a partir de hidrocarbonetos. Estes têm origem em matérias-primas não renováveis, e não recicláveis [...]” O autor salienta que, por muitas vezes, a combustão dos materiais de natureza sintética ocasiona a emissão de gases tóxicos. Como exemplos de materiais tradicionais, Jelle (2011) cita o poliestireno expandido (EPS), o poliestireno extrudado (XPS) e o poliuretano (PUR).

- **Poliestireno expandido (EPS)**

De acordo com Jelle (2011), o EPS é feito a partir do petróleo bruto, o qual contém agentes expansivos, e do pentano, que expande através de aquecimento com vapor de água, de modo que as esferas expandidas se unem na área de contato entre elas. O autor explica que esse material de isolamento pode ser apresentado em placas (FIGURA 6) ou então de forma contínua numa linha de produção e, complementa ainda, que a condutividade térmica do EPS varia de acordo com a temperatura, o teor de umidade e a densidade de massa.

Figura 6 – EPS em placas.



Fonte: Taveira Serviços Industriais (2018).

Segundo a Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (ABRAPEX), no processo produtivo do EPS não se faz uso de gases do tipo clorofluorcarboneto (CFC), gases esses que são responsáveis pela diminuição da camada de ozônio. Ainda, a ABRAPEX afirma que o EPS é um ótimo isolante térmico e que possui diversas

vantagens, estando entre as principais a baixa condutividade térmica, baixo peso, facilidade de manuseio, resistência mecânica, etc. No que se refere a condutividade térmica, a NBR 15220-2/2005, da ABNT, especifica para o poliestireno expandido do tipo moldado um valor igual a 0,040 W/m.K.

- **Poliestireno extrudado (XPS)**

O XPS também é produzido a partir do petróleo bruto, porém, nesse caso, é adicionado um gás expansivo fazendo com que a massa seja extrusada e expandida (JELLE, 2011). O autor explica ainda que o material isolante é produzido de forma contínua e é cortado apenas após o resfriamento (FIGURA 7). Jelle complementa ainda que, assim como EPS, o XPS varia com o teor de umidade, a temperatura e a densidade da massa.

Figura 7 – XPS cortado em placas.



Fonte: CELPROM Soluções Construtivas (2009).

Em relação a condutividade térmica do XPS, a NBR 15220-2/2005, da ABNT, especifica um valor de 0,035 W/m.K. Quanto as vantagens, a empresa CELPROM Soluções Construtivas (2009) afirma que o XPS apresenta várias, sendo as principais: excelente eficiência na isolação térmica (altas e baixas temperaturas), altíssima resistência mecânica, conforto acústico, é um produto inerte e reciclável, apresenta fácil aplicação etc.

- **Poliuretano (PUR)**

Conforme Jelle (2011), o PUR (FIGURA 8) forma-se a partir de uma reação

entre isocianatos e polióis, sendo que durante o processo de expansão do material os poros fecham-se e preenchem-se com um gás expansivo. O autor explica que esse material isolante pode ser produzido tanto em forma de placas quanto de modo contínuo em linha de produção e, complementa ainda que, assim como os materiais citados anteriormente, sua condutividade térmica varia com a densidade da massa, temperatura e o com o teor de umidade. Ainda, o autor salienta que mesmo que o PUR seja seguro quando usado em condições ideais, esse material, em caso de incêndio, ao queimar libera cianeto de hidrogênio e isocianatos, que são muito tóxicos e podem causar sérios problemas de saúde.

Figura 8 – PUR em forma de placas e cilindro.



Fonte: TermoBrás Isolantes Térmicos (2014).

Segundo catálogo da empresa Panisol, especializada em produção de telhas sanduíche e painéis térmicos em linha contínua, as maiores vantagens do PUR são: isolamento térmico eficiente, baixo peso, boa resistência mecânica, facilidade de manuseio, pode ser fornecido com retardante à chama, entre outros. No que diz respeito a condutividade térmica, a NBR 15220-2/2005, da ABNT, especifica para o PUR um valor de $0,030 \text{ W/m.K}$, sendo, dos materiais sintéticos citados, o que apresenta menor condutividade térmica.

2.13.2 Materiais para isolamento térmico de natureza mineral

Silva (2013, p. 5) explica que “os materiais de isolamento térmico de origem mineral são concebidos com base em matérias-primas naturais e abundantes, tais como areia, rocha vulcânica, e vidro reciclado.” O autor afirma que esses materiais se apresentam normalmente na forma de painéis semirrígidos ou rígidos e cita alguns deles, como a lã de vidro, a lã de rocha e o vidro celular.

- **Lã de vidro**

Jelle (2011) explica que a lã de vidro (FIGURA 9) é produzida a uma temperatura de aproximadamente 1.400°C a partir de vidro borossilicato, sendo que como resultado tem-se uma massa aquecida que é puxada por uma máquina e transformada em fibras. Papadopoulos (2005) acrescenta que materiais adesivos e hidrofugantes são adicionados a mistura com o intuito de aumentar a resistência mecânica dos materiais.

Figura 9 – Lã de vidro em rolo.



Fonte: ISOVER Saint-Gobain (2014).

A NBR 15220-2/2005, da ABNT, especifica um valor de condutividade térmica para a lã de vidro igual a 0,045 W/m.K. Quanto as suas características e vantagens,

a empresa Saint-Gobain afirma que a lã de ovelha possui alta resistência ao fogo, alta resistência ao tempo (não é vulnerável a fungos e bactérias e às variações de temperatura) e é de fácil instalação.

- **Lã de rocha**

Papadopoulos (2005) explica que a lã de rocha (FIGURA 10) é feita dos mesmos materiais que a lã de vidro, as principais diferenças estão nas altas temperaturas para fundição que são utilizadas no processo de produção e nos tamanhos das fibras. O autor salienta que essas diferenças acabam fazendo com que a lã de rocha seja mais pesada e seja mais adequada para aplicação em altas temperaturas.

Figura 10 – Lã de rocha em painéis rígidos.



Fonte: ISOTRAN Isolamentos Térmicos e Montagens LTDA.

Quanto a condutividade térmica da lã de rocha, a NBR 15220-2/2005, da ABNT, especifica o mesmo valor que o da lã de vidro, sendo esse 0,045 W/m.K. Esse valor de condutividade térmica, assim como os citados anteriormente, pode variar pois dependem de vários fatores, como a densidade da massa, a temperatura e a umidade (JELLE, 2011).

De acordo com a empresa FIBROSOM, que fornece soluções técnicas na construção civil, as principais vantagens desse material isolante são: excelente desempenho térmico e acústico, produto inofensivo para a saúde, proteção contra o

fogo, eficiência energética, não gera substâncias agressivas ou contaminantes que prejudiquem o meio ambiente, etc.

- **Vidro celular**

Segundo Silva (2013), o vidro celular (FIGURA 11) é fabricado a partir de carbono e vidro, contendo em suas micro células um tipo de gás inerte que garante a esse material propriedades isolantes boas. O autor acrescenta que é possível encontrar esse tipo de material na forma de painéis ou blocos.

Figura 11 – Vidro celular em diferentes formatos.



Fonte: Foamglas (2017).

De acordo com a empresa Isolex, que comercializa a espuma de vidro celular, esse material apresenta características como: não corrosivo, elevadíssima resistência ao fogo, impermeável, excelente resistência a compressão, eficiência térmica, não prejudica a camada de ozônio. A empresa especifica ainda que, a 0°C o material apresenta uma condutividade térmica de 0,039 W/m.K enquanto a 10°C sua condutividade é de 0,040 W/m.K.

2.13.3 Materiais para isolamento térmico de natureza vegetal

Os materiais isolantes térmicos de origem vegetal, segundo Silva (2013), se caracterizam por possuírem fibras vegetais, gerando, em sua maioria, um impacto ambiental de menor grau do que outros materiais isolantes térmicos. Quanto a sua utilização, Asdrubali, Schiavoni e Horoshenkov (2012) destacam que a mesma

contribui para alcançar uma sustentabilidade maior das edificações, devido ao fato de necessitarem menos tratamento, gerando um melhor desempenho quanto a economia de energia. Os autores explicam ainda que, no período de crescimento, esses materiais contribuem para limitar o impacto gerado pelo homem na mudança climática. Quanto as desvantagens, os autores citam a limitada resistência do material tanto em relação a fungos e parasitas como ao fogo quando comparado a outros materiais produzidos pelo homem, sendo assim, em alguns casos torna-se necessário realizar um tratamento químico nos materiais vegetais ocasionando uma diminuição na classificação de sustentabilidade desses materiais.

Tangjuank (2011) esclarece que, devido a questões de segurança ambiental e economia de energia no setor da construção civil, os isolamentos térmicos são necessários, porém deve-se considerar a substituição de materiais de natureza sintética por materiais renováveis. Como efeito dessa necessidade, os autores afirmam que a utilização de agro-fibras como materiais de isolamento térmico vem aumentando em muitos países.

Quanto aos variados materiais vegetais que podem ser utilizados para isolamento térmico, Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015) citam o sabugo de milho, bagaço de cana, folhas de abacaxi, casca de arroz, girassol, palha, entre outros.

- **Sabugo de milho**

De acordo com o *United States Department of Agriculture* (USDA) (2018a) a projeção da produção mundial de milho 2017/18 é de 1.036 milhões de toneladas. Nessa projeção, o Brasil é o terceiro maior produtor de milho (92 milhões de toneladas), perdendo apenas para a China (215,89 milhões de toneladas) e para os Estados Unidos da América (370,96 milhões de toneladas).

Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015) explicam que o sabugo de milho (FIGURA 12) são os resíduos gerados pelas plantas de milho e da indústria de transformação. Quanto a condutividade térmica da espiga de milho, um estudo realizado por Marcos (2015) alcançou um valor de 0,058 W/m.K com a utilização de um molde preenchido com granulado do caroço da espiga de milho (FIGURA 13) para os ensaios.

Figura 12 – Sabugo de milho.



Fonte: Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015, p. 5).

Figura 13 – Molde preenchido com granulado do caroço da espiga de milho.



Fonte: Marcos (2015, p. 83).

- **Bagaço de cana**

Segundo Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015), o bagaço de cana pode ser considerado como um dos resíduos de maior importância na produção açucareira. Os autores explicam que devido a sua grande disponibilidade em áreas de cultivo de cana-de açúcar, seu preço baixo e o seu conteúdo de celulose que ajuda a reduzir o

uso de ligantes sintéticos, diversos trabalhos vêm sendo realizados para desenvolvimento de isolamento térmico inovador a partir desse resíduo.

De acordo com o USDA (2018b), o Brasil é classificado como o maior produtor de cana do mundo, de modo que, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) (2018a), a produção no país está estimada em 633.261,9 mil toneladas. Quanto a utilização do bagaço de cana (FIGURA 14) no país, o Ministério de Minas e Energia (MME) (2007) esclarece que esse material é em parte utilizado como biomassa e em parte queimado nas caldeiras das usinas.

Figura 14 – Bagaço de cana.



Fonte: Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015, p. 4).

Em relação a condutividade térmica do bagaço de cana, Manohar et al. (2006) realizaram análises em amostras de densidades variadas – valores entre 70 e 120 kg/m³ – encontrando o melhor valor de condutividade térmica para a densidade de 100 kg/m³, sendo esse valor igual a 0,0461 W/m.K.

- **Folhas de abacaxi**

Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015) explicam que a partir da coleta e produção de abacaxi, alguns resíduos são produzidos, sendo um deles as folhas de abacaxi, que normalmente são queimadas ou tratadas em usinas de energia, ocasionando tanto a poluição do ar como a do solo. Os autores explicam que através

da descoberta inovadora do uso desse material no setor da construção, esses problemas podem ser limitados.

Dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (2016) apontam que, em escala mundial, foram produzidas 25.809.038 toneladas de abacaxi no ano de 2016. Apenas no Brasil, foram produzidas 2.694.555 toneladas de abacaxi (cerca de 10% da produção mundial), tornando o país o segundo colocado no *ranking* mundial de produção de abacaxi, ficando atrás apenas da Costa Rica, que produziu 2.930.661 toneladas (equivalente a aproximadamente 11% da produção mundial).

Através de ensaios realizados por Tangjuank (2011) em diversos protótipos feitos a partir das fibras de folhas de abacaxi (FIGURA 15) e látex de borracha, utilizando-se densidades de 178, 210 e 232 kg/m³, encontrou-se como melhor valor de condutividade térmica 0,035 W/m.K para a densidade de 210 kg/m³.

Figura 15 – Fibras de folhas de abacaxi.



Fonte: Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015, p. 7).

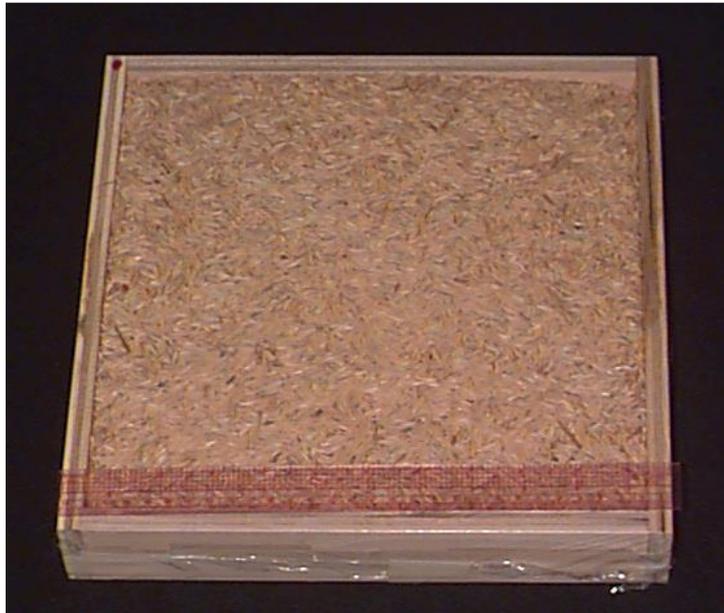
- **Casca de arroz**

Yarbrough et al. (2005) explicam que a casca de arroz é um resíduo sólido, oriundo do arroz, que possui potencial para ser utilizado como isolamento térmico. No

que diz respeito a produção de arroz, dados do USDA (2018a) mostram que a projeção mundial de produção é de 487,46 milhões de toneladas, de modo que no Brasil espera-se alcançar um valor de 8,08 milhões de toneladas (equivalente a aproximadamente 2% da produção mundial).

Em relação a condutividade térmica da casca de arroz (FIGURA 16), ensaios realizados por Yarbrough et al. (2005) em protótipos atingiram um valor médio de 0,049 W/m.K, a uma temperatura de 25°C e com densidade média de 149 kg/m³.

Figura 16 – Protótipo desenvolvido a partir de casca de arroz.



Fonte: Yarbrough et al. (2005).

- **Girassol**

O girassol é muito cultivado no mundo devido ao alto teor de óleo contido em suas sementes, de modo que muitas pesquisas foram realizadas visando o desenvolvimento de novos materiais para isolamento térmico através do cultivo de plantas ou resíduos da produção de óleo (ASDRUBALI; D'ALESSANDRO; SCHIAVONI, 2015). No Brasil, a projeção de produção de girassóis para as safras de 2017/18 é de 0,10 milhões de toneladas, enquanto a projeção mundial é de 45,24 milhões de toneladas, sendo a maior produtora a Ucrânia, que apresenta uma produção de 13,00 milhões de toneladas (USDA, 2018a).

Quanto a condutividade térmica desse material, Evon et al. (2015) realizaram ensaios em protótipos (FIGURA 17) de variadas densidades (255 a 439 kg/m³) e compostos por diferentes materiais ligantes. Os autores explicam que o melhor resultado, a 25°C (temperatura ambiente), foi de 0,064 W/m.K para uma densidade de 255 kg/m³, de modo que nesse protótipo utilizou-se como material ligante cola óssea feita a partir de gelatina.

Figura 17 – Protótipo de girassol com cola óssea.



Fonte: Evon et al. (2015).

- **Palha**

A palha é um subproduto do cultivo de cereais que está disponível em grandes quantidades e a baixo custo num grande número de países. A palha tem sido um dos primeiros materiais a serem usados em construções verdes e há muitos edifícios construídos utilizando essa técnica em todo o mundo. Diversos trabalhos de pesquisa têm avaliado os efeitos do uso do fardo de palha como isolante térmico em edificações (ASDRUBALI; D’ALESSANDRO; SCHIAVONI, 2015).

Em relação a condutividade térmica da palha, através de ensaios em protótipos, Pruteanu (2010) encontrou valores médios de 0,061 e 0,053 W/m.K, para densidades de 51,06 e 76,40 kg/m³, respectivamente. Estudos realizados por Vejeliene et al. (2011), encontraram diferentes valores de condutividade térmica para diferentes protótipos feitos com palha (FIGURA 18) que possuíam como principal diferença a orientação do material, desse modo os autores concluíram que:

A condutividade térmica da palha geralmente depende da orientação dos caules da palha na amostra. A condutividade térmica mínima tem caules de palha orientadas perpendicularmente ao fluxo de calor e a maior tem caules de palha orientada paralelamente ao fluxo de calor (VEJELIENE et al., 2011, p. 440).

Figura 18 – Protótipo construído a partir de palha.



Fonte: Vejeliene et al. (2011, p. 438).

Uma opção de palha que pode ser utilizada é a de soja (FIGURA 19), visto que existe grande disponibilidade no Brasil. O USDA (2018a) apresenta uma projeção para as safras 2017/18 no Brasil de 115,00 milhões de toneladas, posicionando-se atrás apenas dos Estados Unidos da América (119,52 milhões de toneladas), enquanto a projeção para a produção mundial é de 334,81 milhões de toneladas. Quanto ao estado do Rio Grande do Sul (RS), no Brasil, o Conab (2018b) prevê para a safra 2017/18 uma produção de 16.968,2 mil toneladas de soja, sendo o RS o terceiro maior produtor do país.

Figura 19 – Palha de soja.



Fonte: Embrapa (2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A partir da revisão bibliográfica realizada, evidencia-se a necessidade de estudar e desenvolver novos materiais para isolamento térmico, visando a sustentabilidade, eficiência energética e o conforto térmico.

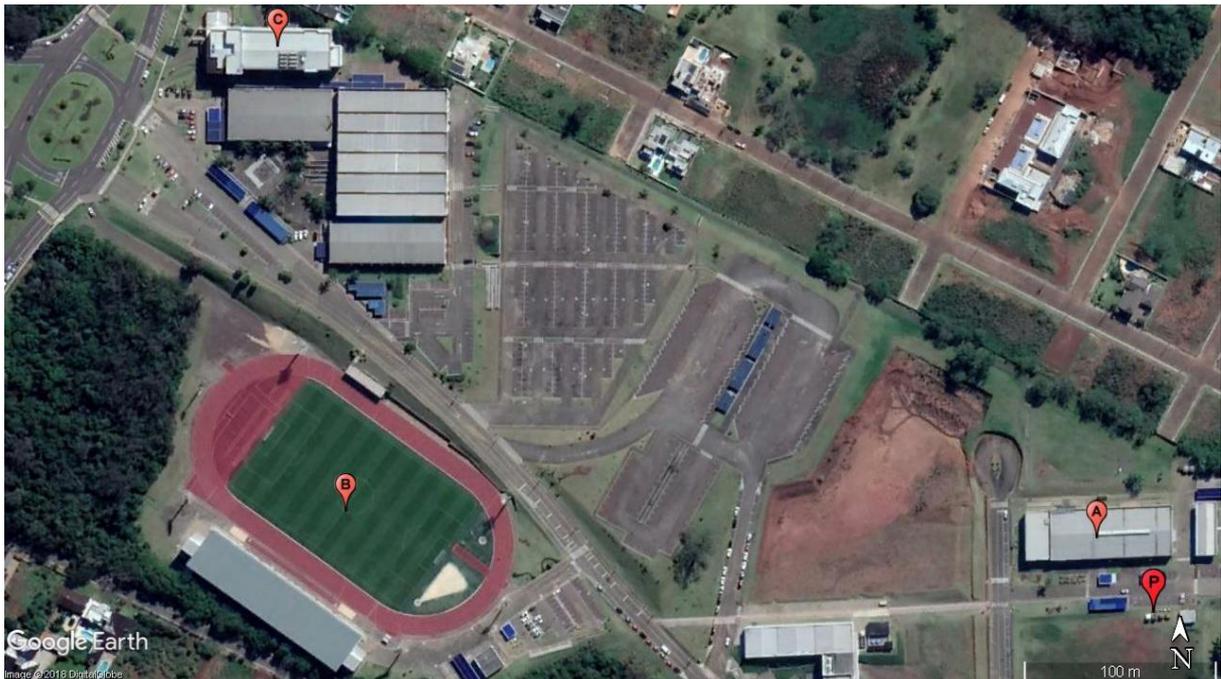
A pesquisa foi realizada a partir de procedimentos experimentais, permitindo a verificação do desempenho térmico do protótipo com revestimento de fachada composto por placas de isolamento térmico e comparação com os protótipos compostos por materiais convencionais. Quanto ao método de procedimento experimental, Gil (2008, p. 16) explica que esse “consiste essencialmente em submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto”. Em relação ao modo de abordagem do problema, o mesmo caracteriza-se como quantitativo que, em sua essência, considera que tudo é quantificável, ou seja, traduz-se em opiniões, números e informações para poder classificá-las e analisá-las (PRODANOV; FREITAS, 2013). No que se refere ao tipo de pesquisa, este trabalho enquadra-se nas pesquisas exploratórias, de modo que essas possuem como principal objetivo desenvolver, esclarecer e modificar ideias e conceitos, visando a formulação de hipóteses pesquisáveis para estudos futuros ou problemas que apresentem maior precisão (GIL, 2008).

3.1 Localização dos protótipos

A construção dos protótipos e as medições de temperatura foram realizadas junto ao Prédio 17, situado no campus da Universidade do Vale do Taquari –

UNIVATES, a qual localiza-se na cidade de Lajeado/RS. O Prédio 17 é representado pelo ponto “A” na Figura 20, enquanto no ponto “B” e no ponto “C”, que representam pontos de referência, situam-se o Complexo Esportivo e o Prédio 16, respectivamente. Enquanto isso, o ponto “P” demonstra a localização dos protótipos, de modo que suas coordenadas geográficas são: latitude 29°26'55.25"S e longitude 51°56'42.45"O.

Figura 20 – Localização dos protótipos.



Fonte: Google Earth Pro (2018).

3.2 Materiais

3.2.1 Placas de isolamento térmico

Para o desenvolvimento das placas de isolamento térmico, utilizou-se como agregado a palha de soja - resíduo agrícola gerado pela colheita mecanizada da soja - visto que o plantio desse cereal é uma atividade muito realizada no Brasil. A palha utilizada foi recolhida depois da colheita mecanizada e doada por um agricultor da cidade de Nova Bréscia/RS. O material foi armazenado em sacos de nylon com respiros em ambiente arejado para que pudesse secar naturalmente. Antes da utilização do material, foi realizada uma seleção manual para retirar possíveis materiais que não fossem palha de soja.

Como material aglutinante, utilizou-se o silicato de sódio neutro, comumente conhecido como vidro líquido, visto que o mesmo se mostrou um material de valor acessível e com bom desempenho quanto a função de aglutinante. Aliaksandr, Aliaksandr e Gaspar (2018), desenvolveram protótipos visando o isolamento térmico que utilizavam como material aglutinante o silicato de sódio líquido, o qual apresentava as seguintes propriedades e características: coloração amarelo-esverdeada; módulo de silicato de 2,8 a 3,2; viscosidade igual a 0,0194 N.s/m²; potencial hidrogeniônico (pH) de 11 a 12; e densidade entre 1,4 e 1,47 g/cm³. No Brasil não foram encontrados produtos semelhantes a esse, sendo assim, utilizou-se o silicato de sódio neutro fabricado pela empresa Alpha Química. As propriedades do produto foram disponibilizadas através de um laudo pela empresa e são especificadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Propriedades do silicato de sódio neutro.

Estado	Líquido
Densidade 25°C (g/cm³)	1,376
SiO₂ (%)	27,30
Sólidos (%)	35,83
Na₂O (%)	8,53
Relação (SiO₂/Na₂O)	3,20

Fonte: Adaptado pela autora com base em Alpha Química (2018).

Para a construção das placas, misturou-se os dois materiais supramencionados numa bandeja, obedecendo uma proporção de aproximadamente 220 g de palha de soja para 300 g de silicato de sódio neutro. Essa proporção foi obtida após diversas tentativas de misturas, a fim de garantir rigidez à placa, tornando possível manuseá-la. Posteriormente, moldou-se a bandeja com tijolos para garantir um tamanho de 54 x 57 cm e espalhou-se os materiais, pressionando manualmente para que a espessura final da placa fosse de aproximadamente 2 cm. Executou-se esse mesmo procedimento oito vezes. Em seguida, as bandejas foram submetidas a uma estufa aquecida a 60°C durante 5 horas, secando a mistura e garantindo rigidez a ela. Em seguida, foram cortadas as placas pela metade (27 x 28,5 cm), totalizando 16 placas de palha de soja. Logo após, construíram-se novas placas compostas por três camadas, duas camadas externas de 1 cm de argamassa e uma camada interna composta pela placa de palha de soja e silicato de sódio neutro (2 cm). Ainda, na camada interna, optou-se por deixar um cobrimento de argamassa de

aproximadamente 1,5 cm em todas as laterais (FIGURA 21). A dimensão final das placas de isolamento térmico é de 30 x 4 x 31,5 cm. O traço utilizado para a argamassa foi 2:1 (cimento CP IV : areia média).

Figura 21 – Desenvolvimento das placas de isolamento térmico.



Fonte: Da autora (2018).

3.2.2 Protótipos

Para realizar a comparação de desempenho térmico foram construídos três protótipos similares com dimensões de 60 x 60 x 64 cm, sem sistema de ventilação natural. A única diferença entre eles consiste no revestimento das fachadas.

O Protótipo I (FIGURA 22) representa uma estrutura convencional de edificação – em menor escala – porém sem a aplicação de reboco e de isolamento térmico, sendo essa estrutura composta por laje inferior e superior de concreto (com dimensões de 80 x 80 x 5 cm), alvenaria de vedação (blocos cerâmicos maciços com dimensões de 23 x 11 x 7 cm) e telha do tipo sanduíche (com espessura de 3 cm). As juntas foram executadas com argamassa de assentamento com espessura de aproximadamente 1 cm. Tanto o concreto como a argamassa foram executados *in*

loco, com traços de 1:3:2 (cimento CP V-ARI : areia média : brita zero) e 1:2:5 (cimento CP IV : cal do tipo hidráulica : areia média), respectivamente.

Figura 22 – Fachada frontal (norte) do Protótipo I.



Fonte: Da autora (2018).

O Protótipo II (FIGURA 23) é composto pelos mesmos materiais que o Protótipo I. A única diferença entre esses protótipos está no revestimento, de modo que no Protótipo II foi executada uma camada de revestimento de reboco com traço 1:2:5 (cimento CP IV : cal do tipo hidráulica : areia média) e espessura de aproximadamente 2 cm.

Figura 23 – Fachada frontal (norte) do Protótipo II.



Fonte: Da autora (2018).

O Protótipo III (FIGURA 24), também representa uma estrutura convencional de edificação em escala reduzida, porém com aplicação de isolamento térmico. Essa estrutura é constituída dos mesmos materiais que o Protótipo I, estando a única diferença na aplicação das placas de isolamento térmico supracitadas nas fachadas. As placas foram fixadas na alvenaria através de perfis de alumínio. É importante ressaltar que a placa de revestimento tem como única função a de isolamento térmico.

Figura 24 – Fachada frontal (norte) do Protótipo III.



Fonte: Da autora (2018).

3.2.3 Coleta de dados

Para a coleta de dados referente a temperatura externa e as temperaturas internas dos protótipos, utilizou-se o equipamento de registro e aquisição de dados *FieldLogger* (FIGURA 25), modelo 512k, juntamente com sensores PT 100 (FIGURA 26), os quais foram posicionados no interior e no exterior dos protótipos. Esses sensores transmitem os dados de temperatura para o *FieldLogger*, o qual armazena os dados e posteriormente os transmite para um computador, sendo possível fazer a leitura dos valores obtidos. Salienta-se que o registro das informações foi realizado de hora em hora pelo equipamento *FieldLogger*.

Figura 25 – FieldLogger.



Fonte: Da autora (2018).

Figura 26 – Sensor PT 100.



Fonte: Spinelli (2015, p. 41).

Quanto aos dados de radiação solar utilizados para a análise de temperaturas, esses foram aferidos e disponibilizados pelo Núcleo de Informações Hidrometeorológicas (NIH) da UNIVATES.

3.3 Método

Neste estudo, calculou-se a transmitância térmica das paredes e da cobertura dos protótipos, assim como o fluxo térmico dos elementos e a carga térmica para cada protótipo. As equações utilizadas foram extraídas da NBR 15220-2/2005, com

exceção da equação do fluxo térmico, que foi retirada de Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

3.3.1 Cálculo da transmitância térmica

Para que seja possível calcular a transmitância térmica das paredes e da cobertura dos protótipos é necessário calcular primeiramente a resistência térmica. Para o cálculo da transmitância das paredes foi utilizada a Equação 1, sendo indicada pela NBR 15220-2/2005 para o cálculo da resistência térmica de um componente com camadas homogêneas e não homogêneas, de superfície a superfície. Já para o cálculo da transmitância térmica da cobertura fez-se uso da Equação 2, recomendada pela NBR 15220-2/2005 para o cálculo da resistência térmica de um componente com camadas homogêneas.

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (1)$$

Onde:

A_a, A_b, \dots, A_n = áreas de cada seção (m^2);

R_a, R_b, \dots, R_n = resistências térmicas de superfície a superfície para cada seção, consistindo na divisão da espessura pela condutividade térmica do material ($m^2.K/W$);

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn} \quad (2)$$

Onde:

$R_{t1}, R_{t2}, \dots, R_{tn}$ = resistências térmicas das “n” camadas homogêneas ($m^2.K/W$);

$R_{ar1}, R_{ar2}, \dots, R_{arn}$ = resistências térmicas das “n” camadas de ar não ventiladas ($m^2.K/W$);

Para o cálculo da resistência térmica total do elemento, que consiste na soma da resistência térmica de superfície a superfície com a resistência superficial interna e externa, a NBR 15220-2/2005 especifica a Equação 3. Salienta-se que os valores

de resistência térmica superficial externa e interna foram citados anteriormente na revisão bibliográfica através da Tabela 5.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (3)$$

Onde:

R_t = resistência térmica de superfície a superfície ($m^2.K/W$);

R_{se} = resistência térmica superficial externa ($m^2.K/W$);

R_{si} = resistência térmica superficial interna ($m^2.K/W$).

Por fim, para o cálculo da transmitância térmica, a NBR 15220-2/2005 específica e Equação 4.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

Onde:

R_T = resistência térmica total ($m^2.K/W$).

Para análise dos resultados obtidos, será observada a NBR 15575-4/2013, da ABNT, que especifica os valores máximos admissíveis para transmitância térmica de paredes externas. Desse modo, para que as placas de isolamento térmico atendam a norma, essas devem apresentar valores menores que os valores dispostos na Tabela 6, tabela previamente citada no subitem 2.9.

3.3.2 Cálculo da carga térmica

Para o cálculo da carga térmica utilizou-se as equações disponibilizadas por Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 218). Primeiramente, calcula-se o fluxo de calor das paredes e da cobertura dos protótipos (EQUAÇÃO 5) para posteriormente calcular a carga térmica dos protótipos, que consiste na soma do fluxo térmico de cada parede com o fluxo térmico da cobertura.

$$Q = [U \cdot (\alpha \cdot I \cdot R_{se} + T_{ext} - T_{int})] \cdot A \quad (5)$$

Onde:

U = transmitância térmica ($m^2.K/W$);

α = absortividade da superfície externa do fechamento;

I = radiação solar (W/m^2);

R_{se} = resistência térmica superficial externa ($m^2.K/W$);

T_{ext} = temperatura externa ($^{\circ}C$);

T_{int} = temperatura interna ($^{\circ}C$).

A = área do fechamento em questão (m^2).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os dados utilizados para os cálculos e análises, assim como os resultados obtidos e a discussão sobre os mesmos.

4.1 Análise de temperaturas

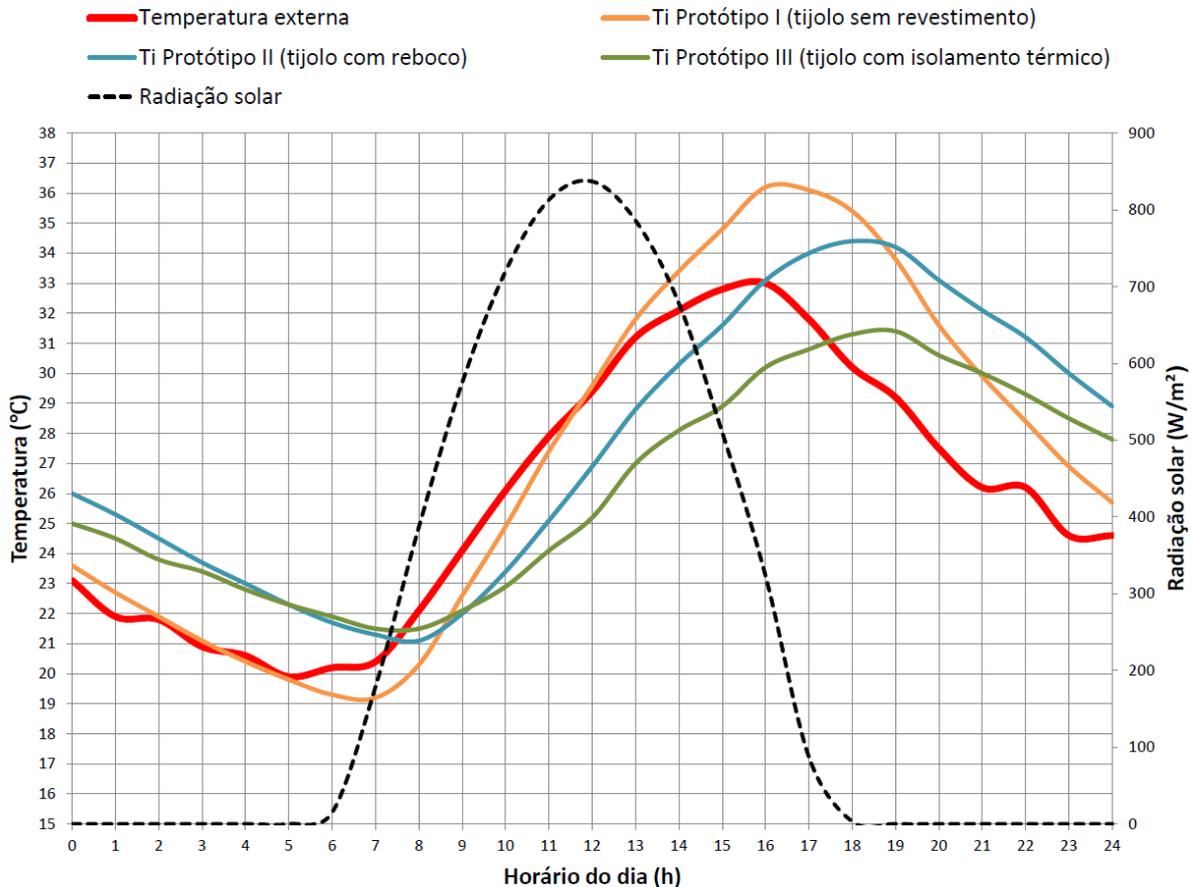
Neste subcapítulo, serão apresentados os gráficos relativos a alguns dos dias mais quentes (com temperatura externa máxima acima dos 30°C), sendo demonstradas a temperatura externa, a temperatura interna dos protótipos e a radiação solar, de hora em hora.

Através dos gráficos elaborados e do comparativo de temperaturas, torna-se possível verificar a influência da utilização de isolamento térmico quando comparado aos protótipos convencionais (sem isolamento térmico). Além disso, pode-se visualizar a influência devido a incidência de radiação solar. A coleta de dados ocorreu do dia 05/09/2018 ao dia 12/11/2018. Considerou-se a temperatura de conforto térmico como sendo 24°C e, salienta-se, que os protótipos não possuem nenhuma ventilação.

4.1.1 Dia 22 de setembro de 2018

O primeiro dia a atingir temperatura externa acima dos 30°C foi o dia 22/09/2018. Os dados de temperatura externa, temperatura interna dos protótipos e radiação solar desse dia, podem ser visualizados no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Comparativo de temperaturas no dia 22/09/2018.



Fonte: Da autora (2018).

Nesse dia, a temperatura externa máxima ocorreu às 15h45min, alcançando um valor igual a 33,1°C, enquanto a radiação solar máxima ocorreu às 11h45min, apresentando um valor igual a 840 W/m².

No momento em que a temperatura externa máxima foi atingida – às 15h45min – a temperatura interna do Protótipo I, do Protótipo II e do Protótipo III apresentaram valores iguais 36°C, 32,7°C e 29,9°C, respectivamente. Constata-se a importância da utilização do isolamento térmico, visto que o Protótipo III apresentou uma diferença de 2,8°C em relação ao momento de pico da temperatura externa, enquanto no Protótipo II e III a temperatura interna estava maior que a externa. Ressalta-se que os protótipos não possuem nenhuma ventilação, tornando mais demorada a perda de calor para o ambiente externo.

Em relação ao atraso térmico, analisa-se que para o Protótipo I o atraso térmico é de 30min, uma vez que a temperatura máxima externa ocorreu às 15h45min e a temperatura máxima interna do protótipo ocorreu às 16h15min. Já no Protótipo II, o

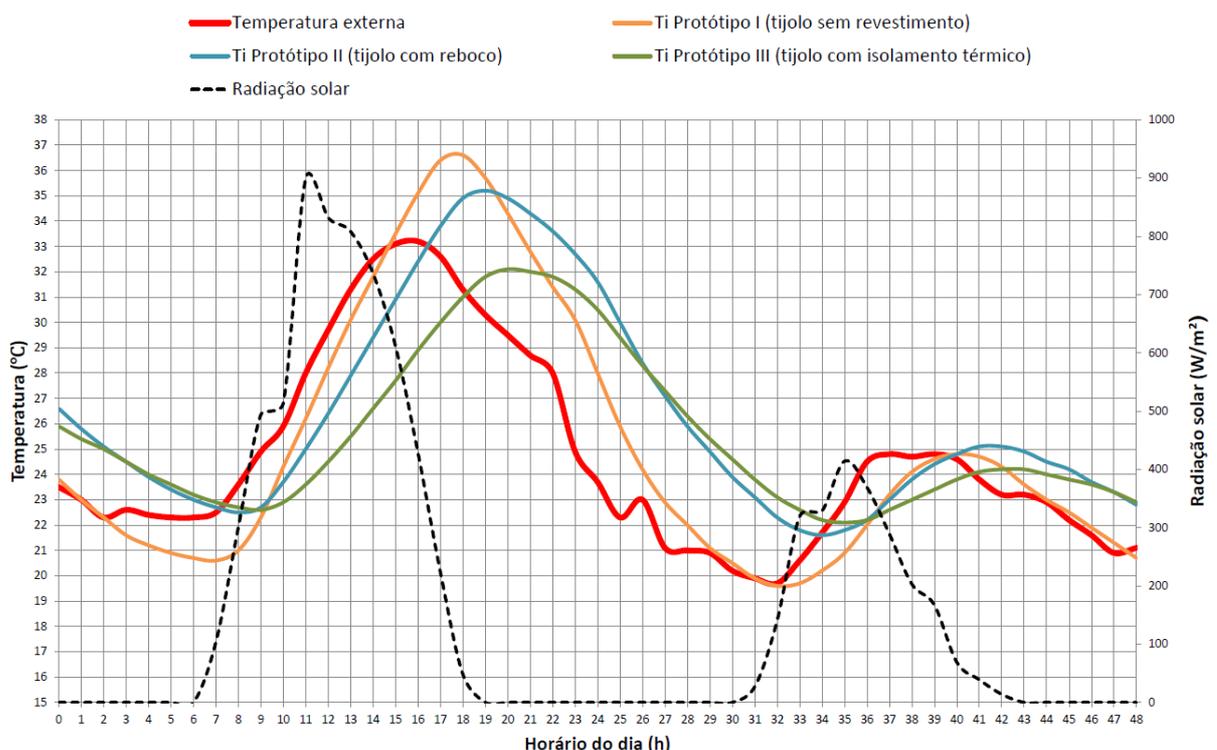
atraso térmico é de 2h30min, visto que a temperatura máxima interna do protótipo foi registrada às 18h15min. Quanto ao Protótipo III, esse apresentou um atraso térmico de 3 horas, pois a temperatura máxima interna do protótipo ocorreu às 18h45min.

A maior diferença de temperatura interna registrada entre o Protótipo III (tijolo com isolamento térmico) e o Protótipo I (tijolo sem revestimento) foi igual a 6°C, enquanto a diferença entre o Protótipo III e o Protótipo II (tijolo com reboco) apresentou um valor igual a 3,2°C, demonstrando novamente, a influência da aplicação de isolamento térmico em fachadas.

4.1.2 Dia 29 de setembro de 2018

No período de coleta, o segundo dia a atingir temperatura externa acima dos 30°C foi o dia 29/09/2018. Para a análise desse dia, optou-se por considerar 48 horas seguidas, para observar o comportamento dos protótipos nas horas iniciais do dia seguinte ao dia de temperatura externa maior que 30°C. Os dados referentes a temperatura externa, temperatura interna dos protótipos e radiação solar dos dias 29/09 e 30/09 podem ser vistos no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Comparativo de temperaturas nos dias 29 e 30/09/2018.



Fonte: Da autora (2018).

A temperatura máxima externa desses dois dias também foi registrada às 15h45min, porém atingindo um valor igual a 33,3°C. Em relação a radiação solar, essa atingiu seu pico às 11h15min, apresentando um valor igual a 910 W/m². Nota-se a influência da radiação solar sobre a temperatura, pois no dia 29/09 a radiação solar foi elevada, apresentando também temperaturas altas, no entanto, no dia 30/09 a radiação solar não excedeu os 450 W/m² e, conseqüentemente a temperatura nesse dia foi mais amena, sendo a sua máxima 24,8°C,

No momento em que foi registrada a temperatura externa máxima, às 15h45min do dia 29/09, a temperatura interna do Protótipo I, do Protótipo II e do Protótipo III apresentaram valores iguais 34,8°C, 32°C e 28,7°C, respectivamente. Ao realizar a análise entre a temperatura interna do Protótipo III e a temperatura externa de pico, entende-se a importância do uso de isolamento térmico, já que a diferença entre as temperaturas foi de 4,6°C. Já a diferença entre a temperatura interna do Protótipo II e a temperatura máxima externa é menor, apenas 1,3°C, enquanto a temperatura interna do Protótipo I é maior que a temperatura externa de pico, isso devido ao fato de não possuir nenhuma ventilação, tornando o processo de perda de calor para o ambiente externo mais demorado.

Quanto a análise de atraso térmico, em relação ao Protótipo I, verificou-se um valor igual a 2 horas, pois o pico de temperatura externa foi atingido às 15h45min, enquanto a temperatura máxima interna do protótipo ocorreu às 17h45min. Para o Protótipo II, calculou-se um valor igual a 3h15min, visto que a temperatura interna máxima foi alcançada às 19h. O Protótipo III apresentou um atraso térmico igual a 4h15min, em virtude de a máxima temperatura interna ter sido atingida às 20h.

O Protótipo III apresentou, como maior diferença de temperatura interna em relação ao Protótipo I, um valor igual a 6,4°C, enquanto a maior diferença entre as temperaturas internas do Protótipo III e do Protótipo II foi de 3,9°C. A partir desses resultados torna-se evidente o bom desempenho do isolamento térmico realizado.

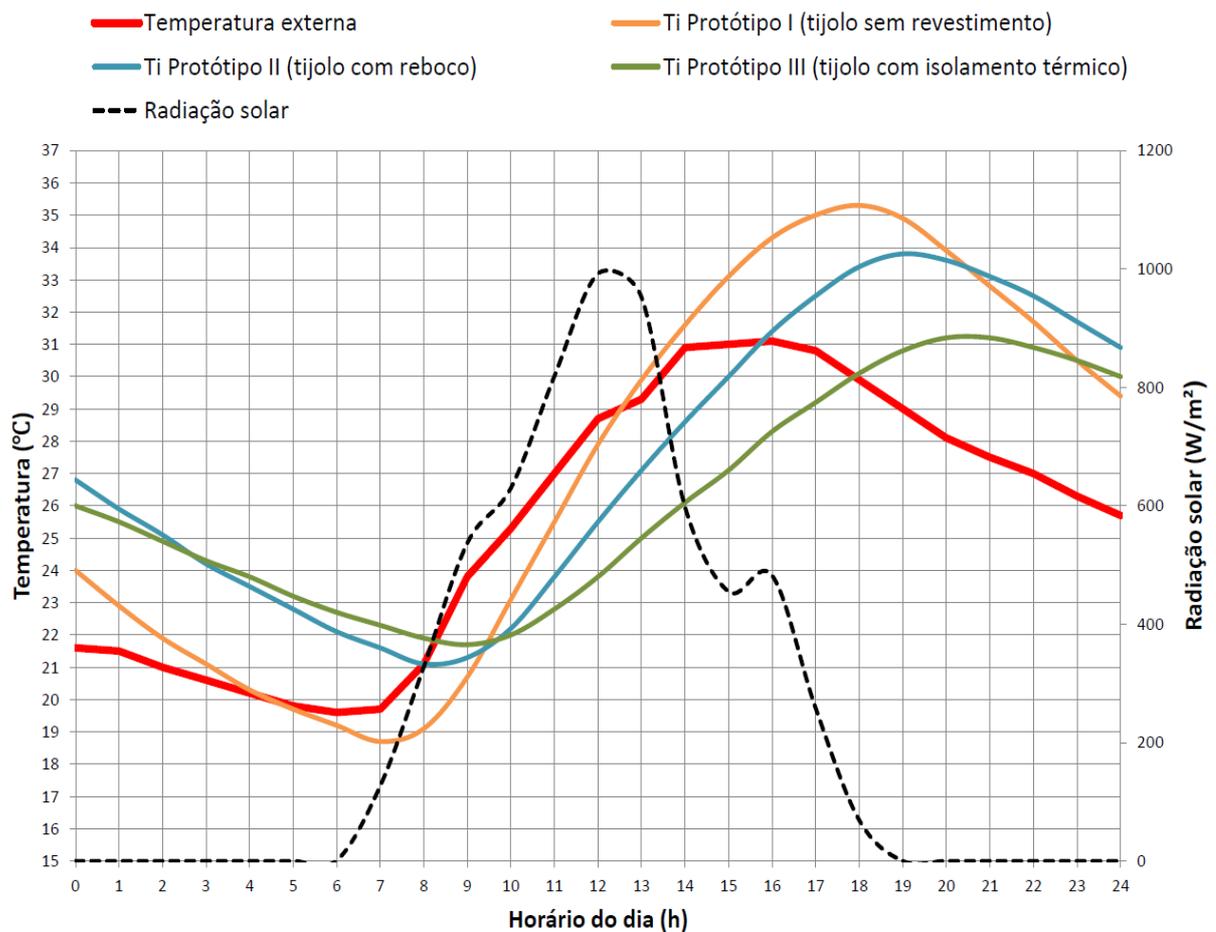
Verifica-se que após atingir o pico de temperatura interna, o protótipo com isolamento térmico leva muito mais tempo para perder o calor para o ambiente externo, de modo que a temperatura interna do protótipo e a temperatura externa se igualam somente próximo das 10h30min do dia 30/09 (34,5h no Gráfico 4),

demonstrando a influência do isolamento térmico e da falta de ventilação. Esse fato ocorre também nos Protótipos I e II, porém ambos demoram menos tempo para que a temperatura interna de cada protótipo atinja o mesmo valor que a temperatura externa, de modo que o Protótipo I e II atingem essa igualdade de temperatura às 7h (31h no Gráfico 4) às 10h (34h no Gráfico 4), respectivamente.

4.1.3 Dia 08 de outubro de 2018

O terceiro dia a atingir temperatura externa acima dos 30°C foi o dia 08/10/2018. Os dados referentes a temperatura interna dos protótipos, temperatura externa e radiação solar desse dia, podem ser visualizados no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Comparativo de temperaturas no dia 08/10/2018.



Fonte: Da autora (2018).

A temperatura máxima externa do dia 08 de outubro foi de 31,1°C às 16h, enquanto a radiação solar máxima desse dia foi de aproximadamente 1000 W/m², às

12h15min. No horário de pico de temperatura externa o Protótipo I, o Protótipo II e o Protótipo III apresentavam uma temperatura interna igual a 34,3°C, 31,4°C e 28,3°C, respectivamente, enquanto a radiação solar era de 482 W/m². Nesse horário, a diferença de temperatura entre o interior do Protótipo III e o ambiente externo era igual a 2,8°C, enquanto a temperatura interna dos outros protótipos era superior a temperatura externa, fato ocorrido devido ao acúmulo de calor.

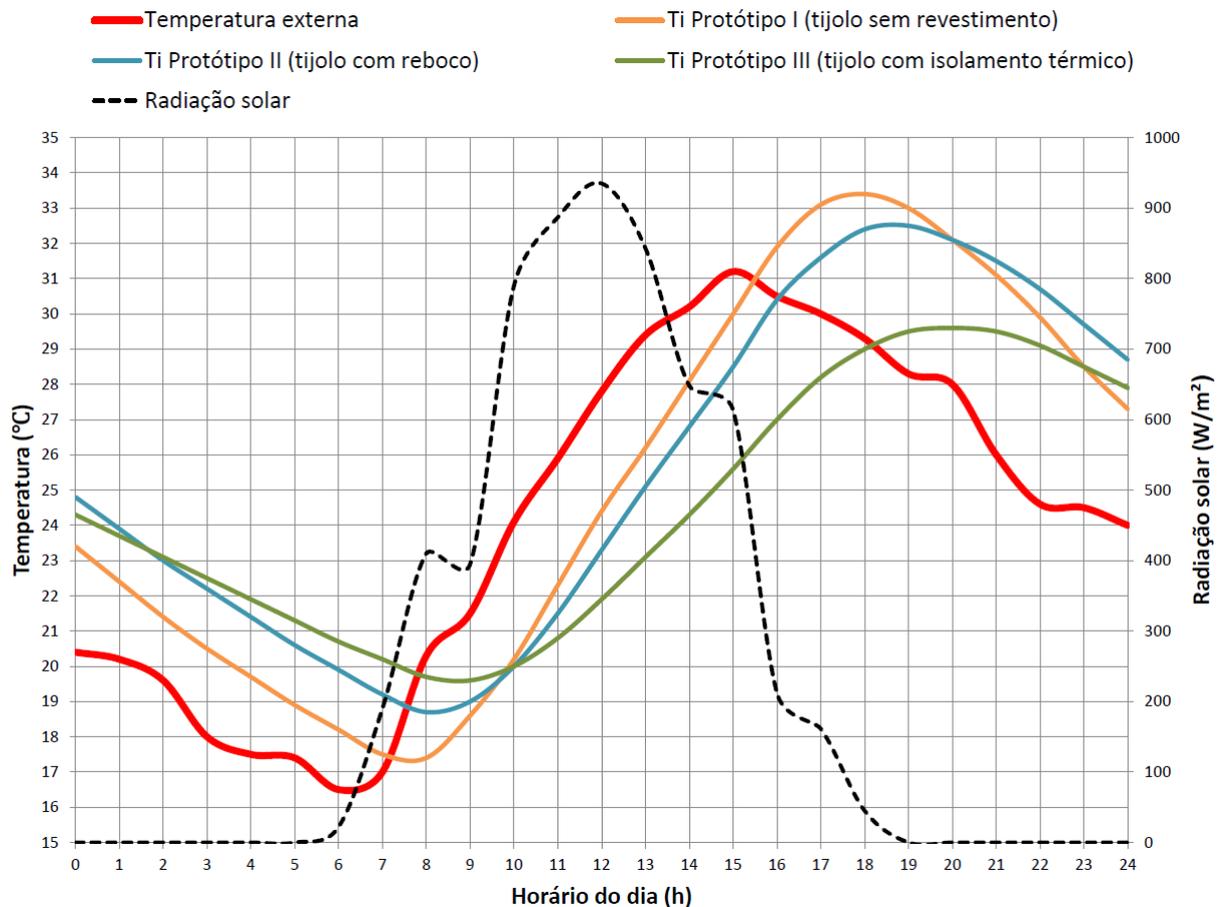
O atraso térmico calculado para o Protótipo I foi igual a 2h, pois a temperatura externa máxima foi alcançada às 16h, enquanto a temperatura máxima interna do protótipo ocorreu às 18h. Enquanto isso, calculou-se para o Protótipo II um valor igual a 3h, visto que a temperatura interna máxima foi atingida às 19h. Por fim, o Protótipo III apresentou um atraso térmico igual a 4h30min, devido ao fato de que o pico de temperatura interna ocorreu às 20h30min, demonstrando a influência positiva da utilização do isolamento térmico nas fachadas.

Quanto as maiores diferenças entre as temperaturas internas, o Protótipo III apresentou, em relação ao Protótipo I, um valor igual a 6°C. Já a diferença de maior expressão entre o Protótipo III e o Protótipo II foi de 3,3°C.

4.1.4 Dia 22 de outubro de 2018

Outro dia a registrar temperatura externa acima dos 30°C foi o dia 22 de outubro. O Gráfico 6 apresenta os dados referentes a temperatura externa, temperatura interna dos protótipos e radiação solar desse dia.

Gráfico 6 – Comparativo de temperaturas no dia 22/10/2018.



Fonte: Da autora (2018).

A temperatura externa máxima no dia 22 de outubro ocorreu às 15h, apresentando um valor igual a 31,2°C. Quanto a radiação solar máxima, essa atingiu seu pico às 11h45min, apresentando um valor de aproximadamente 940 W/m².

As temperaturas internas dos Protótipos I, II e III, no momento em que a temperatura externa máxima foi alcançada, eram iguais a 30°C, 28,5°C e 25,6°C, na devida ordem. Analisando a diferença de temperatura em relação as internas e a externa, os protótipos apresentaram uma diferença de 1,2°C, 2,7°C e 5,6°C, respectivamente. Analisa-se que a diferença de temperatura do Protótipo III em relação a temperatura externa foi significativamente maior do que a dos outros protótipos, demonstrando a eficácia do isolamento térmico nesse momento.

O atraso térmico calculado para o Protótipo I foi igual a 2h45min, já que a temperatura externa máxima se deu às 15h e a temperatura máxima no interior do protótipo foi às 17h45min. Para o Protótipo II, calculou-se um valor de 3h45min, visto

que a temperatura interna máxima ocorreu às 18h45min. Por fim, foi calculado o atraso térmico para o Protótipo III, encontrando um valor igual a 5h, pois o pico de temperatura no interior do protótipo aconteceu às 20h.

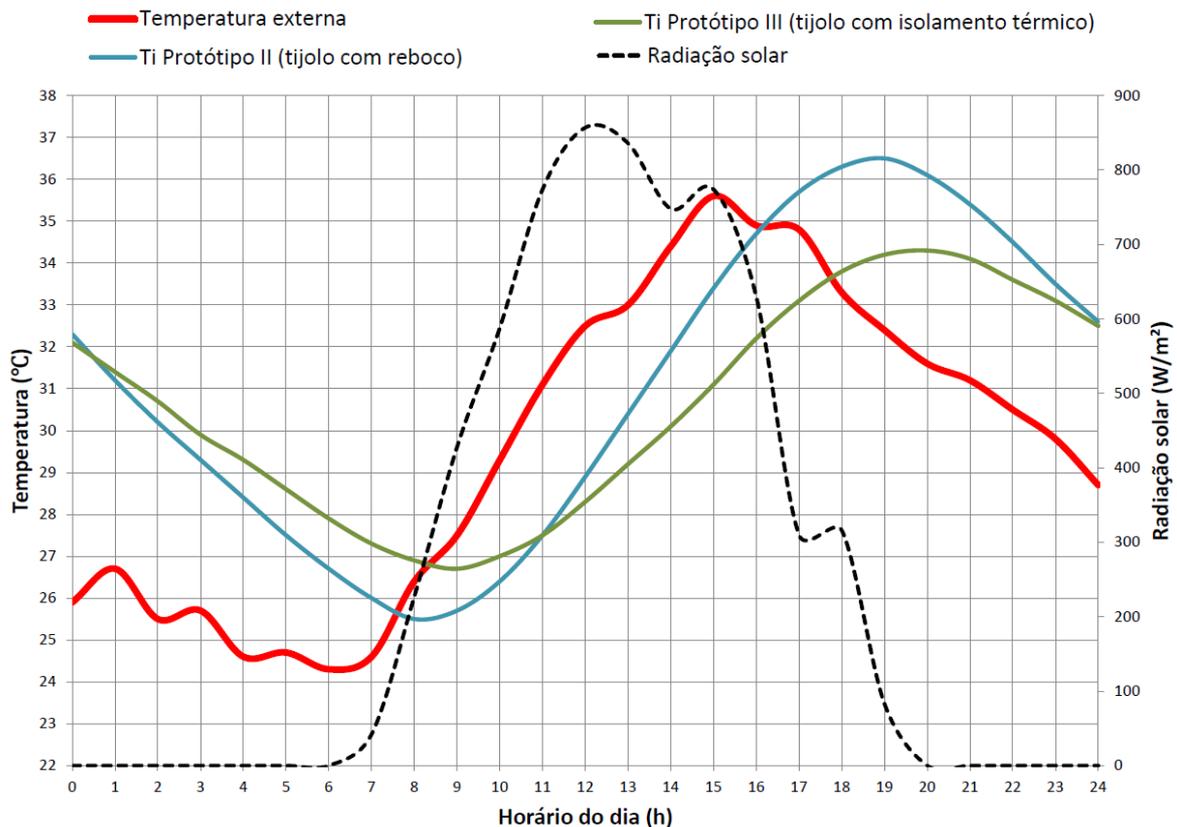
A diferença de temperatura interna mais significativa entre o Protótipo III e o Protótipo I foi de 4,9°C, enquanto a diferença de maior expressão entre o Protótipo III e o Protótipo II foi igual a 3,4°C.

4.1.5 Dia 12 de novembro de 2018

No mês de novembro, um dos dias a registrar temperatura externa acima dos 30°C foi o dia 12. Devido a problemas com os sensores, a temperatura interna do Protótipo I não foi aferida, desse modo, somente é possível realizar a análise de temperaturas dos Protótipos II e III.

Os dados de temperatura externa, temperatura interna dos protótipos e radiação solar desse dia, podem ser visualizados no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Comparativo de temperaturas no dia 12/11/2018.



Fonte: Da autora (2018).

Nesse dia, a temperatura externa máxima ocorreu às 15h, atingindo uma temperatura de 35,6°C, enquanto a radiação solar máxima ocorreu às 12h15min, apresentando um valor próxima a 860 W/m².

No momento em que a temperatura externa máxima foi atingida – às 15h – as temperaturas internas do Protótipo II e do Protótipo III apresentaram valores iguais 33,4°C e 31,1°C, respectivamente. Percebe-se a importância da aplicação do isolamento térmico, visto que o Protótipo III apresentou uma diferença de 4,5°C em relação ao momento de pico da temperatura externa. Apenas a camada de 2 cm de reboco também já apresentou contribuição, pois a diferença da temperatura interna do Protótipo II para a temperatura externa foi igual a 2,2°C.

Analisou-se que o atraso térmico do Protótipo II foi de 3h45min, visto que a temperatura máxima interna do protótipo foi registrada às 18h45min e a máxima externa às 15h. Quanto ao Protótipo III, esse apresentou um atraso térmico de 4h45min, pois a temperatura máxima interna do protótipo ocorreu às 19h45min.

A maior diferença de temperatura interna registrada entre o Protótipo III e o Protótipo II foi igual a 2,6°C, demonstrando novamente, a influência da aplicação de isolamento térmico em fachadas.

4.2 Transmitância térmica

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados obtidos de transmitância térmica dos protótipos. Os valores de condutividade térmica foram extraídos da NBR 15220-2/2005, com exceção do valor relativo a telha sanduíche de poliuretano e do valor de condutividade térmica da palha de soja, que foram extraídos do catálogo de telhas da empresa Ananda Metais e de Pruteanu (2010), respectivamente. Salienta-se que a transmitância térmica da cobertura será calculada apenas no subcapítulo 4.2.1, visto que essa apresenta o mesmo valor para todos os protótipos.

4.2.1 Protótipo I (tijolo sem revestimento)

No Protótipo I não foi realizado revestimento nas fachadas, sendo esse protótipo composto por tijolos cerâmicos maciços com dimensões de 23 x 11 x 7 cm,

argamassa de assentamento com espessura igual a 1 cm, laje inferior e superior de concreto com espessura de 5 cm e telha sanduíche com espessura igual a 3 cm. Os dados utilizados para o cálculo da transmitância térmica das paredes e da cobertura do Protótipo I podem ser visualizados na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados para cálculo da transmitância térmica do Protótipo I.

	Material	Espessura (m)	λ (W/m.K)
Paredes	Argamassa (junta vertical)	0,01	1,15
	Argamassa (junta horizontal)	0,11	1,15
	Tijolo maciço (comprimento)	0,23	0,90
	Tijolo maciço (largura)	0,11	0,90
	Tijolo maciço (altura)	0,07	0,90
Cobertura	Telha sanduíche de poliuretano	0,03	0,0186
	Laje maciça de concreto	0,05	1,75

Fonte: Da autora (2018).

Primeiramente calculou-se a resistência térmica a partir da Equação 1, de modo que os dados utilizados para o cálculo podem ser visualizados na Tabela 9, enquanto os dados aplicados na Equação 2 estão disponibilizados na Tabela 10. O valor de resistência térmica da camada de ar (R_{ar}) apresentado na Tabela 10 é disponibilizado pela NBR 15220-2/2005, tendo sido citado anteriormente na revisão bibliográfica, na Tabela 4.

Tabela 9 – Área das seções e resistência térmica dos materiais das paredes do Protótipo I.

	Área das seções (A_n)	Resistência de superfície a superfície para cada seção (R_n)
Argamassa	0,0031 m ²	0,0957 m ² .K/W
Tijolo maciço	0,0161 m ²	0,1222 m ² .K/W

Fonte: Da autora (2018).

A partir da aplicação dos valores da Tabela 9 na Equação 1, citada previamente no item subitem 3.3.1, obteve-se um resultado de resistência térmica (R_t) da parede igual a 0,1170 m².K/W.

Tabela 10 – Resistência térmica da camada de ar e dos materiais da cobertura.

	Resistência térmica da camada homogênea (R_n)	Resistência térmica da camada de ar (R_{ar})
Telha sanduíche de poliuretano	1,6122 m ² .K/W	0,21 m ² .K/W
Laje maciça de concreto	0,0286 m ² .K/W	

Fonte: Da autora (2018).

Através da aplicação dos valores da Tabela 10 na Equação 2 – anteriormente citada no subitem 3.3.1 – calculou-se um valor de resistência térmica (R_t) da cobertura igual a 1,8508 m².K/W.

Em seguida, calculou-se a resistência térmica total através da Equação 3, de modo que na Tabela 11 é possível visualizar os valores utilizados para o cálculo, assim como o resultado obtido.

Tabela 11 – Valores utilizados na Equação 3 e resultados obtidos para a resistência total (R_T) dos elementos do Protótipo I.

	R_{se}	R_t	R_{si}	R_T
Paredes	0,04 m ² .K/W	0,1170 m ² .K/W	0,13 m ² .K/W	0,2870 m ² .K/W
Cobertura	0,04 m ² .K/W	1,8508 m ² .K/W	0,17 m ² .K/W	2,0608 m ² .K/W

Fonte: Da autora (2018).

Por fim, calculou-se a transmitância térmica das paredes e da cobertura a partir da Equação 4, também citada anteriormente no subitem 3.3.2. Os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 12.

Tabela 12 – Resistência térmica total e transmitância térmica do Protótipo I.

	Resistência térmica total (R_T)	Transmitância térmica (U)
Paredes	0,2870 m ² .K/W	3,48 W/m ² .K
Cobertura	2,0608 m ² .K/W	0,49 W/m ² .K

Fonte: Da autora (2018).

Analisando o resultado de transmitância térmica das paredes e comparando-o com os valores máximos admissíveis definidos pela NBR 15575-4/2013, da ABNT –

valores esses apresentados na Tabela 6 – conclui-se que a transmitância térmica das paredes do Protótipo I excedem o valor máximo definido por norma, visto que a cidade de Lajeado está localizada na zona bioclimática 2 e o valor máximo para essa zona é 2,5 W/m².K.

4.2.2 Protótipo II (tijolo com reboco)

O roteiro para calcular a transmitância térmica das paredes do Protótipo II é basicamente igual ao do Protótipo I, visto que os materiais são os mesmos. A única diferença reside no fato de o Protótipo II possuir revestimento externo de reboco, com 2 cm de espessura. Além disso, não será calculada a transmitância térmica da cobertura, já que o valor é o mesmo para todos os protótipos. Os dados utilizados para o cálculo da transmitância térmica das paredes do Protótipo II podem ser visualizados na Tabela 13.

Tabela 13 – Dados para cálculo da transmitância térmica das paredes do Protótipo II.

Material	Espessura (m)	λ (W/m.K)
Reboco	0,02	1,15
Argamassa (junta vertical)	0,01	1,15
Argamassa (junta horizontal)	0,11	1,15
Tijolo maciço (comprimento)	0,23	0,90
Tijolo maciço (largura)	0,11	0,90
Tijolo maciço (altura)	0,07	0,90

Fonte: Da autora (2018).

Calculou-se a resistência térmica para componentes com camadas homogêneas e não homogêneas, de superfície a superfície, conforme solicita a NBR 15220-2/2005, através da Equação 1, citada anteriormente no subcapítulo 3.3.1. Os valores calculados para as incógnitas da Equação 1 são especificados na Tabela 14.

Tabela 14 – Área das seções e resistência térmica dos materiais das paredes do Protótipo II.

	Área das seções (A_n)	Resistência de superfície a superfície para cada seção (R_n)
Reboco + argamassa	0,0031 m ²	0,1130 m ² .K/W
Reboco + tijolo maciço	0,0161 m ²	0,1396 m ² .K/W

Fonte: Da autora (2018).

A partir da aplicação dos valores da Tabela 14 na Equação 1, obteve-se um resultado de resistência térmica (R_t) da parede igual a 0,1345 m².K/W.

Logo após, calculou-se a resistência térmica total a partir da Equação 3, que foi citada em momento anterior no subcapítulo 3.3.1. Na Tabela 15 visualiza-se os valores utilizados para o cálculo, assim como o resultado obtido.

Tabela 15 – Valores utilizados na Equação 3 e resultados obtidos para a resistência total (R_T) dos elementos do Protótipo II.

R_{se}	R_t	R_{si}	R_T
0,04 m ² .K/W	0,1345 m ² .K/W	0,13 m ² .K/W	0,3045 m ² .K/W

Fonte: Da autora (2018).

Por fim, foi calculada a transmitância térmica das paredes a partir da Equação 4, também citada previamente no subcapítulo 3.3.1. Os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 16.

Tabela 16 – Resistência térmica total e transmitância térmica das paredes do Protótipo II.

Resistência térmica total (R_T)	Transmitância térmica (U)
0,3045 m ² .K/W	3,28 W/m ² .K

Fonte: Da autora (2018).

Ao comparar o resultado calculado de transmitância térmica das paredes com os valores máximos admissíveis estabelecidos pela NBR 15575-4/2013, da ABNT, demonstrados na Tabela 6, é possível concluir que a transmitância térmica das paredes do Protótipo II também extrapolam o valor máximo definido por norma, já que

o valor máximo para a cidade de Lajeado/RS é 2,5 W/m².K, por situar-se na zona bioclimática 2.

4.2.3 Protótipo III (tijolo com isolamento térmico)

O roteiro para calcular a transmitância térmica das paredes do Protótipo III também é semelhante ao do Protótipo I, devido ao fato de os materiais serem os mesmos. A única diferença existente é que o Protótipo III foi revestido externamente com 16 placas de isolamento térmico com dimensões de 30 x 31,5 x 4 cm. Novamente, a transmitância térmica da cobertura não será calculada, visto que o valor é igual para todos os protótipos e já foi calculada anteriormente no subcapítulo 4.2.1.

Os dados utilizados para o cálculo da transmitância térmica das paredes do Protótipo III estão demonstrados na Tabela 17. Ressalta-se que o dado relativo a condutividade térmica da palha de soja foi extraído de Pruteanu (2010), considerando a densidade igual a 76,40 kg/m³.

Tabela 17 – Dados para cálculo da transmitância térmica das paredes do Protótipo III.

Material	Espessura (m)	λ (W/m.K)
Placa de palha de soja	0,02	0,061
Argamassa (placa de isolamento térmico)	0,02	1,15
Argamassa (junta vertical)	0,01	1,15
Argamassa (junta horizontal)	0,11	1,15
Tijolo maciço (comprimento)	0,23	0,90
Tijolo maciço (largura)	0,11	0,90
Tijolo maciço (altura)	0,07	0,90

Fonte: Da autora (2018).

Nesse caso, a NBR 15220-2/2005 normatiza que deve ser calculada a resistência térmica para componentes com camadas homogêneas e não homogêneas, de superfície a superfície, a partir da Equação 1, citada previamente no subcapítulo 3.3.1. Os valores calculados para as incógnitas da Equação 1 estão demonstrados na Tabela 18.

Tabela 18 – Área das seções e resistência térmica dos materiais das paredes do Protótipo III.

	Área das seções (A_n)	Resistência de superfície a superfície para cada seção (R_n)
Placa de isolamento térmico + argamassa	0,0031 m ²	0,4409 m ² .K/W
Placa de isolamento térmico + tijolo maciço	0,0161 m ²	0,4675 m ² .K/W

Fonte: Da autora (2018).

A partir da aplicação dos valores da Tabela 14 na Equação 1, obteve-se como resultado de resistência térmica (R_t) da parede um valor igual a 0,4630 m².K/W.

Posteriormente, foi calculada a resistência térmica total através da Equação 3, a qual foi citada noutra momento, no subcapítulo 3.3.1. Os valores utilizados, bem como o resultado obtido de resistência térmica total, estão especificados na Tabela 19.

Tabela 19 – Valores utilizados na Equação 3 e resultados obtidos para a resistência total (R_T) dos elementos do Protótipo II.

R_{se}	R_t	R_{si}	R_T
0,04 m ² .K/W	0,4630 m ² .K/W	0,13 m ² .K/W	0,6330 m ² .K/W

Fonte: Da autora (2018).

Calculou-se, por fim, a transmitância térmica das paredes fazendo uso da Equação 4, citada anteriormente no subcapítulo 3.3.1. Os resultados obtidos estão especificados na Tabela 20.

Tabela 20 – Resistência térmica total e transmitância térmica das paredes do Protótipo III.

Resistência térmica total (R_T)	Transmitância térmica (U)
0,6330 m ² .K/W	1,58 W/m ² .K

Fonte: Da autora (2018).

Ao analisar o resultado calculado de transmitância térmica e o valor máximo admissível para paredes externas situadas na zona bioclimática 2, valor esse

especificado pela NBR 15575-4/2013 (TABELA 6), pode-se concluir que as paredes do Protótipo III atendem o valor definido por norma, visto que esse valor é $2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

4.3 Carga térmica

Para os cálculos de carga térmica, analisou-se, dentre o período de coleta de dados, o dia que apresentou maior temperatura externa até o dia 25/10 – que foi o dia 29/09 – e o dia que apresentou maior temperatura externa dentre os dias 26/10 e 12/11, sendo esse o dia 12/11. A análise de carga térmica foi realizada de hora em hora para cada protótipo, a fim de descobrir o horário mais crítico. Optou-se por não realizar o cálculo dos custos em relação a utilização de ar condicionado para obtenção do conforto térmico, pois as dimensões dos protótipos são relativamente pequenas, não apresentando valores significativos em na moeda Real.

Quanto aos dados de radiação solar, esses foram extraídos de Frota e Schiffer (2001) e estão representados na Tabela 21, variando de hora em hora. Em relação a temperatura interna, considerou-se a de conforto térmico (24°C), enquanto para a temperatura externa não há um valor fixo, visto que há uma variação de hora em hora. Na Tabela 22 é possível visualizar os dados utilizados para o cálculo do fluxo térmico de cada parede dos protótipos, assim como os dados referentes a cobertura dos protótipos.

Tabela 21 – Dados de radiação solar (W/m^2) incidente sobre planos verticais e horizontais para a Latitude 30° Sul, 22 de dezembro.

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
Norte	25	43	50	58	117	170	179	170	117	58	50	43	25
Sul	142	188	143	78	63	68	65	68	63	78	143	188	142
Leste	340	633	715	667	517	309	65	68	63	58	50	43	25
Oeste	25	43	50	58	63	68	65	309	517	667	715	633	340
Horiz.	114	345	588	804	985	1099	1134	1099	985	804	588	345	114

Fonte: Adaptado pela autora com base em Frota e Schiffer (2001, p. 217).

Tabela 22 – Dados utilizados para os cálculos dos fluxos de calor dos protótipos.

	Protótipo I	Protótipo II	Protótipo III
Transmitância térmica das paredes (W/m².°K)	3,48	3,28	1,58
Transmitância térmica da cobertura (W/m².°K)	0,49	0,49	0,49
Absortividade da superfície externa do fechamento das paredes	0,65	0,3	0,3
Absortividade da superfície externa do fechamento da cobertura	0,05	0,05	0,05
Área do fechamento das paredes (m²)	0,384	0,384	0,384
Área do fechamento da cobertura (m²)	0,64	0,64	0,64
Temperatura interna (°C)	24	24	24
Resistência superficial externa (m².K/W)	0,04	0,04	0,04

Fonte: Da autora (2018).

4.3.1 Dia 29 de setembro de 2018

No dia 29 de setembro de 2018 a temperatura externa máxima registrada foi de 33,3°C, aproximadamente às 16h. Em relação a radiação solar, o valor máximo atingido nesse dia foi de 910 W/m².

Para os cálculos de fluxo térmico utilizou-se a Equação 5, anteriormente citada no subitem 3.3.2. Na Tabela 23 visualizam-se os resultados de fluxo térmico das parede e cobertura dos protótipos e a carga térmica crítica, que ocorreu próx. das 16h.

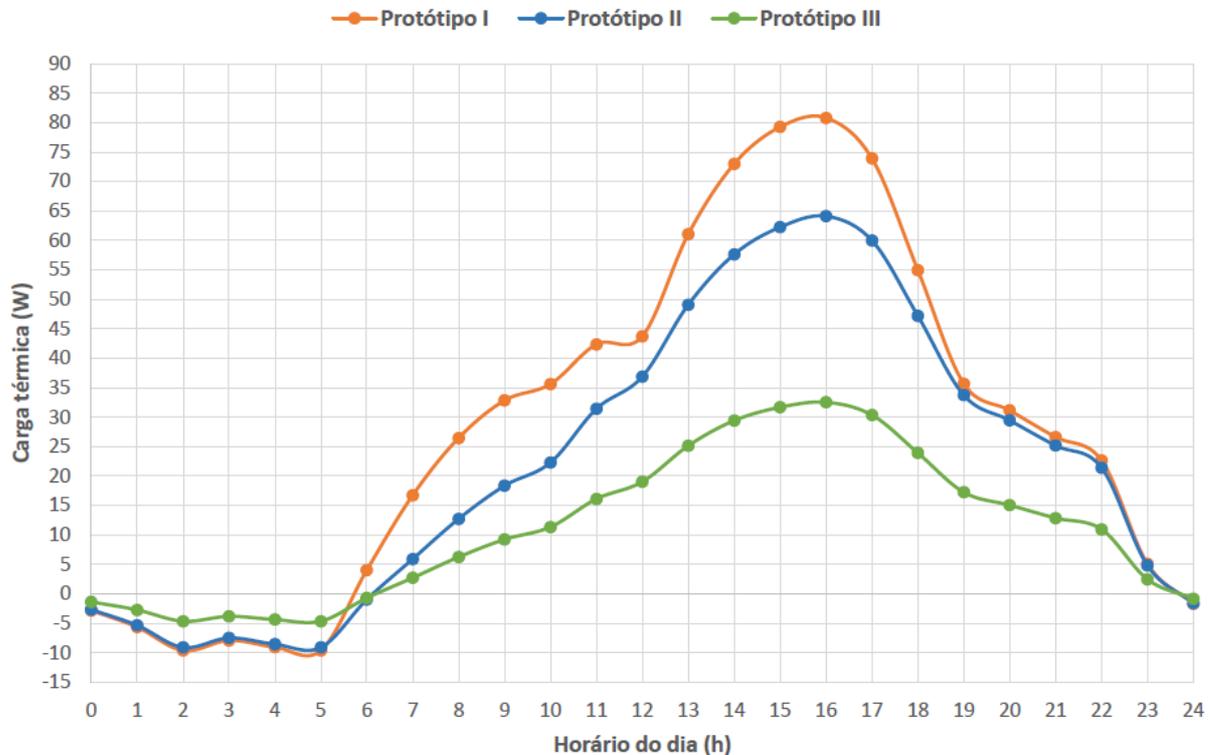
Tabela 23 – Fluxos de calor e carga térmica dos Protótipos I, II e III no dia 29/09/2018.

	Protótipo I	Protótipo II	Protótipo III
Fluxo térmico parede norte (W)	14,05	12,36	5,95
Fluxo térmico parede sul (W)	12,31	13,77	6,62
Fluxo térmico parede leste (W)	14,05	12,36	5,94
Fluxo térmico parede oeste (W)	37,19	22,42	10,79
Fluxo térmico cobertura (W)	3,22	3,22	3,22
Carga térmica (W)	80,82	64,13	32,52

Fonte: Da autora (2018).

Já no Gráfico 8 visualiza-se o comportamento dos protótipos quanto a carga térmica e suas variações em relação ao horário do dia 22 de setembro de 2018.

Gráfico 8 – Comparação das cargas térmicas dos Protótipos I, II e III no dia 29/09/2018.



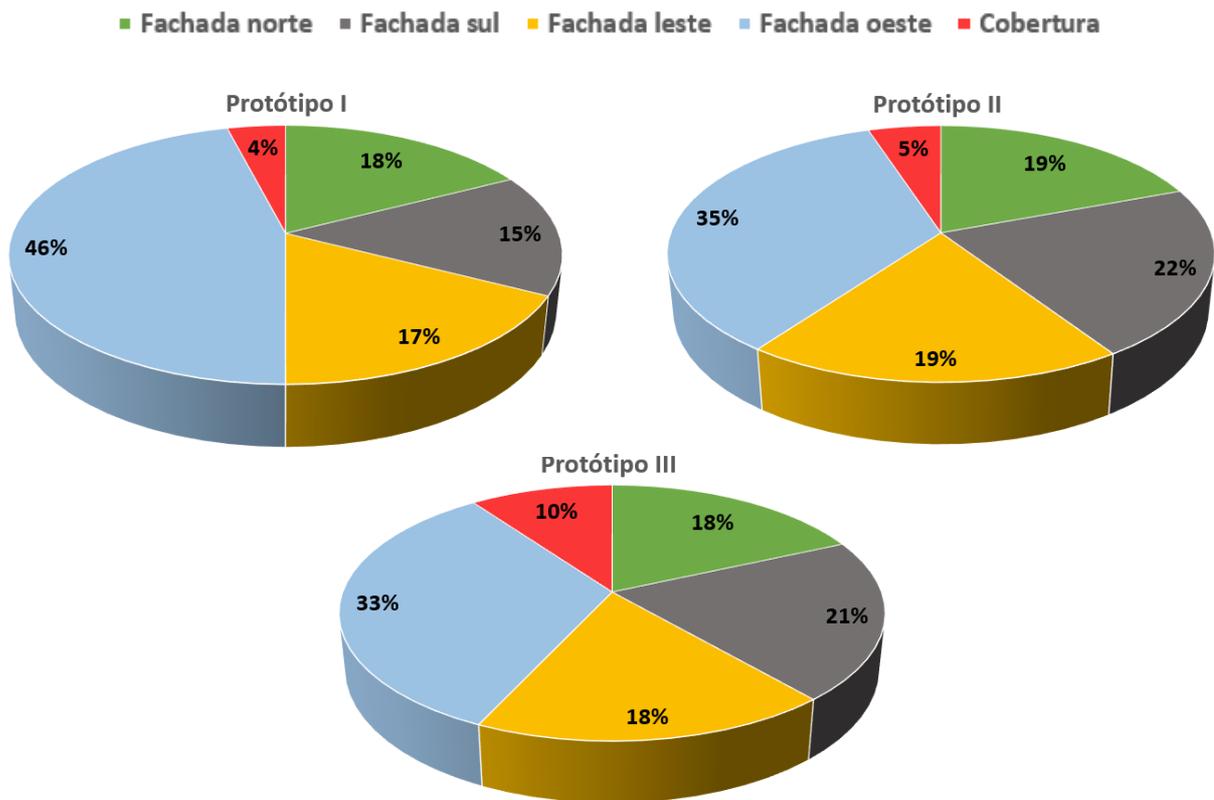
Fonte: Da autora (2018).

Observa-se que o Protótipo III (tijolo com isolamento térmico) apresentou um desempenho melhor do que os outros protótipos, visto que no pico de temperatura do dia a carga térmica do Protótipo III foi significativamente mais baixa, apresentando, em relação ao Protótipo I uma diferença de 48,3 W e em relação ao Protótipo II uma diferença de 31,6 W.

Quanto ao Protótipo II, apenas com uma camada de 2 cm de reboco a mais do que o Protótipo I, o mesmo apresentou uma redução de 16,69 W na carga térmica calculada para o horário das 16h em relação a carga térmica do Protótipo I nesse mesmo horário.

No Gráfico 9 é possível visualizar a contribuição de cada parede e da cobertura em relação ao valor da carga térmica dos Protótipos I, II e III no dia 29 de setembro de 2018.

Gráfico 9 – Contribuição das fachadas e da cobertura na carga térmica crítica dos Protótipos I, II e III, no dia 29/09/2018.



Fonte: Da autora (2018).

A partir do Gráfico 9 é possível analisar que a fachada que teve maior contribuição quanto a carga térmica dos Protótipos I, II e III no momento de maior temperatura do dia é a fachada oeste, atingindo um valor de fluxo de calor igual a 37,19 W (equivalente 46% da carga térmica), 22,42 W (equivalente 35% da carga térmica) e 10,79 W (equivalente 33% da carga térmica), respectivamente. Entende-se que a camada de revestimento externo de 2 cm de reboco contribui significativamente para a diminuição do fluxo de calor nessa parede em relação ao Protótipo I, uma vez que a diferença de fluxo térmico entre o Protótipo II e o Protótipo I foi igual a 14,77 W. Analisou-se uma melhora de maior expressão ainda em relação a carga térmica do protótipo no qual foi aplicado isolamento térmico na face externa das paredes (Protótipo III), visto que a diferença de fluxo térmico entre a fachada oeste do Protótipo III e a do Protótipo I foi de 26,4 W, enquanto a diferença entre a fachada oeste do Protótipo III e a do Protótipo II foi igual a 11,63 W.

4.3.2 Dia 12 de novembro de 2018

No dia 12 de novembro de 2018 o registro de temperatura externa máxima aconteceu por volta das 15h, apresentando um valor de 35,6°C. Em relação a radiação solar, o valor máximo atingido nesse dia foi de 860 W/m². Salienta-se que nesse dia ocorreu um problema com um dos sensores de temperatura, de modo que a temperatura interna do Protótipo I não foi aferida, porém, esse acontecimento não interfere no cálculo da carga térmica, visto que a temperatura interna considerada é a de conforto térmico.

Para os cálculos de fluxo térmico, assim como no dia 29/09, utilizou-se a Equação 5, previamente citada. Os resultados obtidos de fluxo térmico da cobertura e de cada parede dos Protótipos II e III, bem como sua carga térmica crítica – que aconteceu às 15h – estão descritos na Tabela 24.

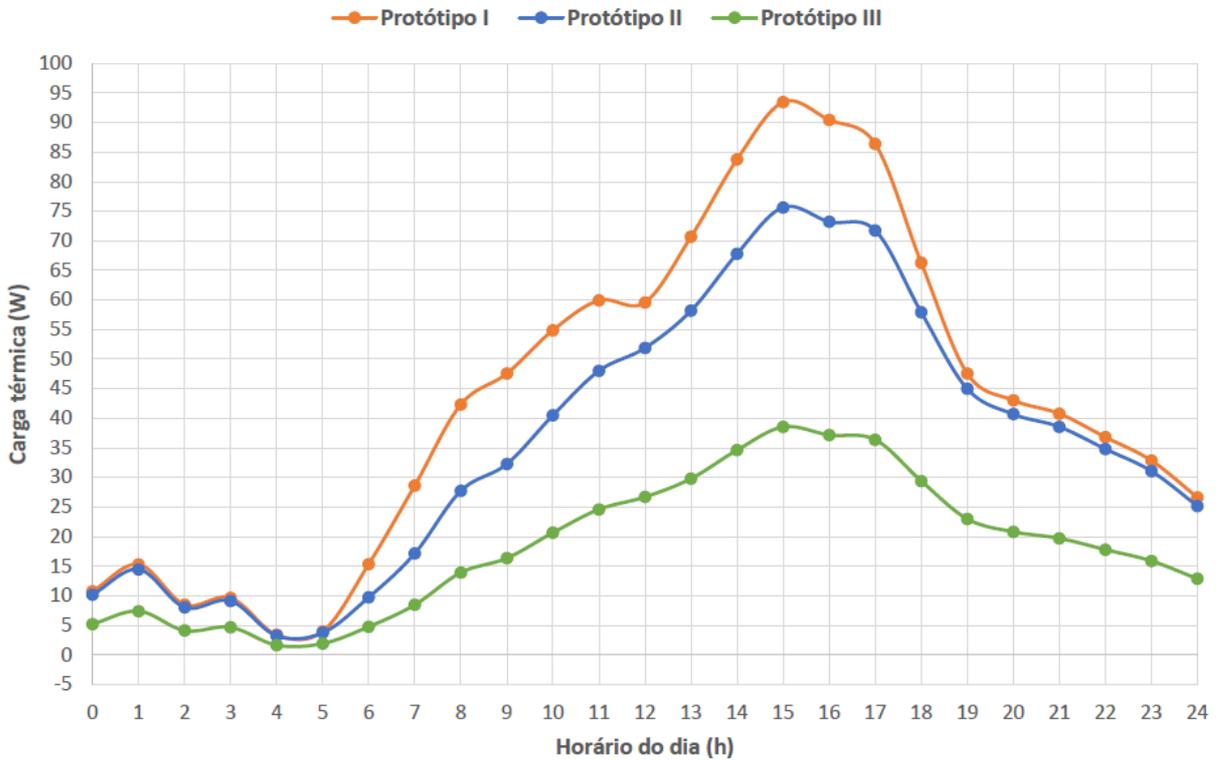
Tabela 24 – Fluxos de calor e carga térmica dos Protótipos I, II e III no dia 12/11/2018.

	Protótipo I	Protótipo II	Protótipo III
Fluxo térmico parede norte (W)	17,54	15,51	7,46
Fluxo térmico parede sul (W)	15,52	15,81	7,61
Fluxo térmico parede leste (W)	17,54	15,51	7,46
Fluxo térmico parede oeste (W)	38,73	24,72	11,89
Fluxo térmico cobertura (W)	4,10	4,10	4,10
Carga térmica (W)	93,43	75,65	38,52

Fonte: Da autora (2018).

No Gráfico 10 é possível visualizar como se comportam os protótipos em relação a carga térmica conforme a variação do horário do dia 12 de novembro de 2018.

Gráfico 10 – Comparação das cargas térmicas dos Protótipos I, II e III no dia 12/11/2018.



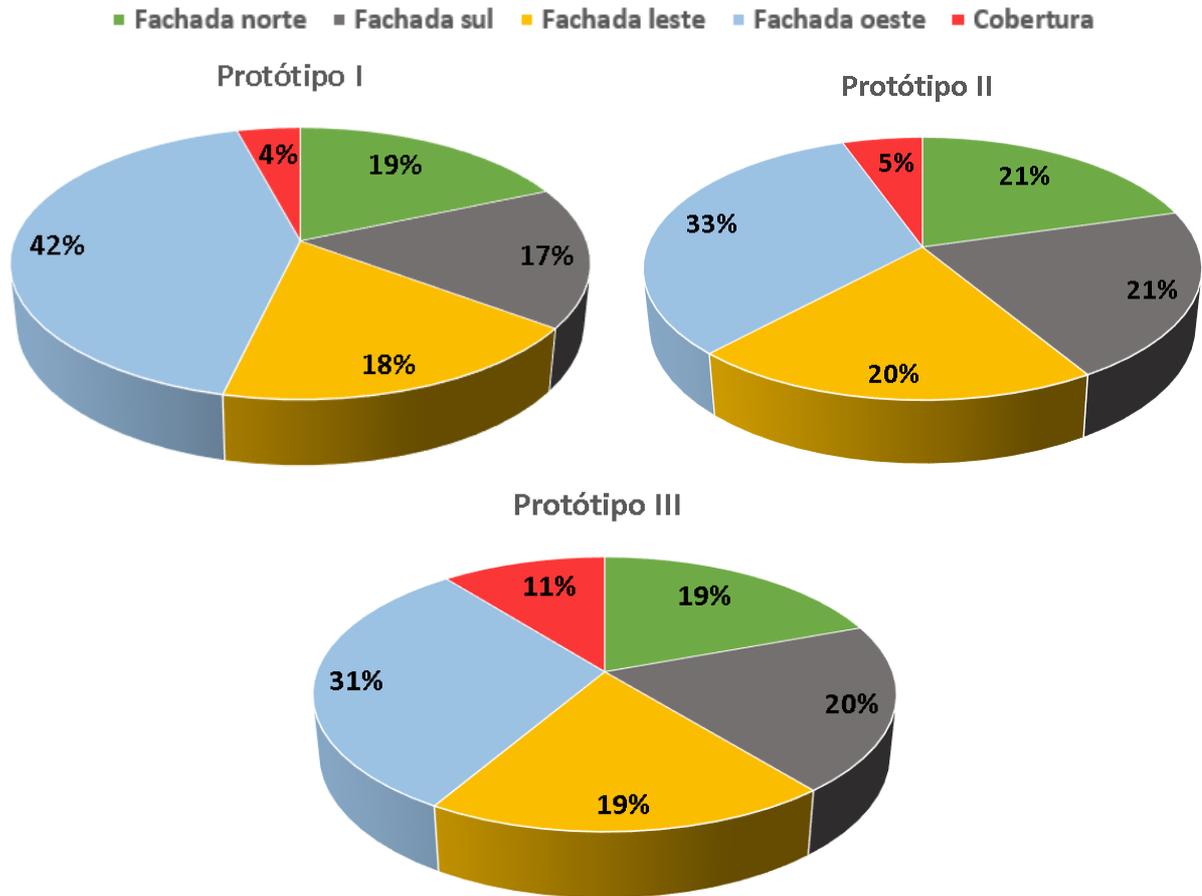
Fonte: Da autora (2018).

A partir da análise do Gráfico 10, é possível observar que o Protótipo III teve um desempenho melhor do que os outros protótipos, pois quando ocorreu o pico de temperatura do dia, a carga térmica do Protótipo III foi consideravelmente menor do que a dos outros, apresentando uma diferença de 54,91 W em relação ao Protótipo I e 37,13 W em relação ao Protótipo II.

No que se refere ao Protótipo II, a camada de 2 cm de reboco contribuiu na redução da carga térmica, visto que essa foi responsável por uma diferença de carga térmica entre o Protótipo II e o I de 17,78 W.

No Gráfico 11 verifica-se a contribuição da cobertura e de cada parede em relação ao valor da carga térmica dos Protótipos I, II e III no dia 12 de novembro de 2018.

Gráfico 11 – Contribuição das fachadas e da cobertura na carga térmica crítica dos Protótipos I, II e III, no dia 12/11/2018.



Fonte: Da autora (2018).

Com base no Gráfico 11, analisa-se que a fachada a apresentar maior contribuição quanto a carga térmica é a fachada oeste em todos os protótipos. No Protótipo I, o fluxo térmico nessa fachada apresentou um valor de 38,73 W, que representa 42% da carga térmica desse protótipo. Já no Protótipo II, o fluxo térmico na fachada oeste atingiu um valor de 24,72 W, representando 33% da carga térmica do protótipo. Enquanto isso, o fluxo térmico dessa mesma fachada, agora do Protótipo III, apresentou um valor de 11,89 W, o que representa 31% da carga térmica do protótipo. A diferença de fluxo térmico na fachada oeste entre o Protótipo II e o I é igual a 14,01 W, demonstrando novamente a influência positiva da aplicação da camada de 2 cm de reboco no Protótipo II. Pode-se perceber uma influência de maior significância no Protótipo III, visto que a diferença de fluxo térmico entre esse protótipo e os Protótipos I e II foi de 26,84 W e 12,83 W, respectivamente, comprovando o bom desempenho do isolamento térmico.

5 CONCLUSÃO

A partir de pesquisas realizadas em livros e artigos, evidencia-se a importância da aplicação de isolamento térmico em edificações, técnica essa que traz diversos benefícios aos usuários, mas que é pouco utilizada no Brasil. O presente estudo permitiu pesquisar um novo material com finalidade de isolamento térmico, abordando conceitos relevantes como sustentabilidade, conforto térmico e eficiência energética, os quais tem se tornado cada vez mais essenciais em projetos de edificações. Ademais, denota-se a necessidade do desenvolvimento de materiais inovadores que consumam menos energia em sua produção.

Com base nos cálculos realizados de transmitância térmica das paredes, foi possível concluir que os Protótipos I e II, compostos apenas por tijolos cerâmicos e tijolos cerâmicos com reboco, respectivamente, não atendem a NBR 15575/2013 em relação a transmitância térmica máxima admissível para a zona bioclimática 2, zona na qual a cidade de Lajeado/RS se situa. Quanto ao Protótipo III, composto por tijolos cerâmicos e placas de isolamento térmico, as paredes externas atendem a NBR 15575/2013. Ademais, quando comparado ao Protótipo I, o Protótipo III apresentou uma redução da transmitância térmica de aproximadamente 55% e, em relação ao Protótipo II, uma redução de quase 52%.

Após comparar o Protótipo III – onde foram aplicadas placas de isolamento térmico produzidas com palha de soja – com os Protótipos I e II, concluiu-se que a utilização dessas placas contribuíram significativamente para a diminuição da carga térmica no horário em que foi registrada a maior temperatura. No dia 29 de setembro de 2018, o Protótipo III, com isolamento térmico, teve uma redução na carga térmica

de aproximadamente 60% em relação ao Protótipo I e de cerca de 49% em relação ao Protótipo II. Já no dia 12 de novembro de 2018, essa redução quanto ao Protótipo I e II foi de aproximadamente 59% e 49%, respectivamente. Porém, devido ao fato de os protótipos serem hermeticamente fechados, ou seja, não possuírem ventilação, esses apresentaram grande acúmulo de calor nas horas iniciais dos dias, tomando mais tempo para que a perda de calor para o ambiente externo ocorresse.

Quanto às análises de temperatura, a partir dos gráficos foi possível constatar a eficiência do isolamento térmico, uma vez que o Protótipo III apresentou significativas diferenças de temperatura em relação aos outros protótipos, de forma que a maior variação ocorreu entre o Protótipo I e o III, sendo essa de 6,4°C.

Por fim, entende-se que o isolamento térmico apresentou um bom desempenho térmico, porém, para futuros estudos, sugere-se a construção de protótipos em maior escala e com algum tipo de ventilação, eis que com essas modificações os resultados seriam mais próximos da realidade, bem como seria possível analisar os custos relativos à utilização de ar condicionado para garantia do conforto térmico.

REFERÊNCIAS

- ADITYA, L. et al. A review on insulation materials for energy conservation in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 1352-1365, 2017. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117302484>. Acesso em: abr. 2018.
- ALIAKSANDR, Bialosau; ALIAKSANDR, Bakatovich; GASPAR, Florindo. Materiais compósitos de isolamento térmico de matérias-primas naturais e aglutinantes minerais. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO: MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 3., 2018, Coimbra. **Anais...** Coimbra: CLB-MCS, 2018. p. 12.
- ANANDA METAIS. **Telhas termoacústicas**. 2018. Disponível em: <<http://www.anandametais.com.br/produtos/coberturas/telhas-termoacusticas-3/>>. Acesso em: nov. 2018.
- ASDRUBALI, Francesco; SCHIAVONI, Samuel; HOROSHENKOV, K. V. A review of sustainable materials for acoustic applications. **Building Acoustics**, v. 19, n. 4, p. 283-311, dez. 2012. Disponível em: <www.journals.sagepub.com/doi/abs/10.1260/1351-010X.19.4.283>. Acesso em: abr. 2018.
- ASDRUBALI, Francesco; D'ALESSANDRO, Francesco; SCHIAVONI, Samuele. A review of unconventional sustainable building insulation materials. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 4, p. 1-17, jun. 2015. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993715000068>. Acesso em: abr. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- _____. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social: ABNT, 2005.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 15575-4:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 15575-5:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO. **O que é EPS.** Disponível em: <www.abrapex.com.br>. Acesso em: abr. 2018.

BALTAR, Marta G. **Redução da demanda de energia elétrica utilizando parâmetros construtivos visando o conforto térmico.** 2006. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, ago. 2006. Disponível em: <www.tede2.pucrs.br>. Acesso em: mar. 2018.

BALTAR, Marta G.; KAEHLER, José W. M.; PEREIRA, Luís A. Indústria da construção civil e eficiência energética. **Engenharia, Inovação e Desenvolvimento**, v. 2, p. 339-344, 2005. Disponível em: <<http://repositorio.pucrs.br/dspace/>>. Acesso em: abr. 2018.

BORGSTEIN, Edward; LAMBERTS, Roberto. **Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação.** São Paulo: CBCS, 2014. Disponível em: <www.cbcs.org.br/website/benchmarking-energia/>. Acesso em: mar. 2018.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar.** Brasília, maio 2018a. Disponível em: <www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/cana>. Acesso em: maio 2018.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos.** Brasília, maio 2018b. Disponível em: <www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: maio 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional De Energia 2030.** Brasília: MME/EPE, 2007. Disponível em: <<http://antigo.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx>>. Acesso em: abr. 2018.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Our common future:** The World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University, 1987.

CELPROM SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS. **XPS – Placas de poliestireno extrudado.** 2009. Disponível em:

<<http://www.celprom.com.br/ategory/produtos/xps-placas-de-poliestireno-extrudado/>>. Acesso em: maio 2018.

DORNELLES, Kelen A. **Absortância Solar de Superfícies Opacas**: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. 2008. 160f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, abr. 2008. Disponível em: <www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257698>. Acesso em: abr. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Plantio direto de milho na palhada de soja**. Maio 2013. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/932001/plantio-direto-de-milho-na-palhada-de-soja>>. Acesso em: maio 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Mandioca e Fruticultura**: Base de Dados dos Produtos. 2016. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_arquivos.htm>. Acesso em: maio 2018.

EVON, Philippe et al. New insulation fiberboards from sunflower cake with improved thermal and mechanical properties. **Journal of Agricultural Studies**, v. 3, n. 2, p. 194-211, jul. 2015. Disponível em: <www.oatao.univ-toulouse.fr/14140/>. Acesso em: maio 2018.

FOAMGLAS. **FOAMGLAS Slabs**. 2017. Disponível em: <<https://int.foamglas.com/en-gb/products/product-overview/foamglas-slabs>>. Acesso em: maio 2018.

FROTA, Anésia. B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Certificação AQUA-HQE**. 2015a. Disponível em: <<https://www.vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-hqe/>>. Acesso em abr. 2018.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Certificação AQUA-HQE em detalhes**. 2015b. Disponível em: <<https://www.vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-em-detalhes/>>. Acesso em abr. 2018.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Indicadores**. 2018. Disponível em: <<https://www.vanzolini.org.br/aqua/indicadores/>>. Acesso em nov. 2018.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e Estudos de Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIVONI, Baruch. **Climate considerations in building and urban design**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

GOMES, Ruy J. **Condicionamentos climáticos da envolvente dos edifícios para habitação**: ensaio de aplicação ao caso da região de Lisboa. Lisboa: Ministério das

Obras Públicas - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Memórias do LNEC, v.2, 1962.

GOOGLE. Google Earth Pro. Version 7.3.2.5491. 2018. Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: set. 2018.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Certificação LEED**. 2014. Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/sobre-certificado.php>>. Acesso em: abr. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency**. Paris: OECD/IEA, 2014a. E-book. Disponível em: <www.iea.org/publications/freepublications/publication/>. Acesso em: abr. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Efficiency Indicators: fundamentals on statistics**. Paris: OECD/IEA, 2014b. E-book. Disponível em: <www.iea.org/publications/freepublications/publication/>. Acesso em: abr. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Technology Perspectives 2017**. Paris: OECD/IEA, 2017. E-book. Disponível em: <www.iea.org/etp2017/>. Acesso em: abr. 2018.

ISOLEX ENERGY CONSERVATION. **Produtos: Foamglas**. Disponível em: <<http://www.isolex.com.br/produtos>>. Acesso em: maio 2018.

ISOTRAN ISOLAMENTOS TÉRMICOS E MONTAGENS LTDA. **Isolantes em lâ de rocha basáltica: painéis (PS)**. Disponível em: <<https://www.isotran.com.br/isolantes-em-la-de-rocha-basaltica/paineis-ps/>>. Acesso em: maio 2018.

ISOVER SAINT-GOBAIN. **Catálogo Wallfelt 4+**. 2014. Disponível em: <<https://www.isover.com.br/construcao-civil/la-de-vidro-para-drywall/feltro-wallfelt>>. Acesso em: maio 2018.

JELLE, Bjørn P. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 10, p. 2549-2563, 2011. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811002295>. Acesso em: abr. 2018.

KIBERT, Charles J. **Sustainable construction: green building design and delivery**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.

LAMBERTS, Roberto et al. **Desempenho térmico de edificações**. 2016. 289f. Apostila (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. São Paulo, Brasil: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LEITE, Vinicius Fare. **Certificação ambiental na construção civil: sistemas LEED e AQUA**. 2011. 50f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <www.pos.demc.ufmg.br/novocecc/>. Acesso em: mar. 2018.

MANOHAR, Krishpersad et al. Biodegradable fibrous thermal insulation. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 1, p. 45-47, mar. 2006. Disponível em: <www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-58782006000100005&script=sci_arttext&tlng=es>. Acesso em: maio 2018.
MARCOS, Juliana Sofia Lopes. **Materiais naturais alternativos de isolamento térmico**. 2015. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2015.

MENDONÇA, Francisco; MONTEIRO, Carlos A. de F. **Clima urbano**. 1. ed. São Paulo: Contexto, 2003.

MOURA, Mariangela de; MOTTA, Ana Lucia T. S. da. O fator energia na construção civil. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 9., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CNEG, 2013, p. 14.

OMER, Abdeen Mustafa. Energy, environment and sustainable development. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 12, n. 9, p. 2265-2300, 2008.

PANISOL. **Placas de poliuretano**. Disponível em: <<http://www.panisol.com.br/placas-de-poliuretano/>>. Acesso em: maio 2018.

PAPADOPOULOS, Agis M. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. **Energy and Buildings**, v. 37, n. 1, p. 77-86, 2005. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778804001641>. Acesso em: maio 2018.

PRIMO, André D. O. **Estudo da durabilidade de materiais e sistemas construtivos: Sistema ETICS**. 2008. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, jul. 2008. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/>>. Acesso em: abr. 2018.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar De. **Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. E-book. Disponível em: <www.feevale.br>. Acesso em: maio 2018.

PRUTEANU, Marian. Investigations Regarding the Thermal Conductivity of Straw. **Buletinul Institutului Politehnic Din Iasi**, Iasi, v. 56, n. 3, p. 9-16, 2010. Disponível em: <<https://search.proquest.com/docview/756245479/fulltext/B0166BC4559C49BCPQ/1?accountid=131418>>. Acesso em: maio 2018.

ROAF, Sue; FUENTES, Manuel; THOMAS, Stephanie. **Ecohouse: A casa Ambientalmente Sustentável**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

- RORIZ, Maurício. **Conforto e Desempenho Térmico de Edificações**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2008. [Notas de aula].
- SILVA, Filipe M. F. **Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, jun. 2013. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/>>. Acesso em: abr. 2018.
- SILVA, Manuel A. P. da. **Metodologia para a definição exigencial de isolantes térmicos**. 1996. Dissertação (Mestrado em Construção de Edifícios) – Universidade do Porto, Porto, set. 1996. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/>>. Acesso em: abr. 2018.
- SOEIRO, Levindo M. M. **Plano de Aumento da Eficiência Energética em Edifícios Municipais**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Universidade do Porto, Porto, jun. 2011. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/>>. Acesso em: mar. 2018.
- SPINELLI, Rodrigo. **Ventilação natural na construção civil: análise de alternativas para implantação de sistemas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, Lajeado, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/966>>. Acesso em: maio 2018.
- SPINELLI, Rodrigo et al. Bioclimatic strategies for the city of Lajeado/RS-Brazil, using data analysis of regional climate. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, set. 2017. Disponível em: <www.revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/50554>. Acesso em: abr. 2018.
- TAMANINI, Carlos A. de M. **Avaliação de desempenho térmico de três sistemas construtivos de edificações escolares na cidade de Maringá-PR**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/83024>>. Acesso em: maio 2018.
- TANGJUANK, S. Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves. **International Journal of Physical Sciences**, v. 6, n. 19, p. 4528-4532, set. 2011. Disponível em: <www.academicjournals.org/journal/IJPS/article-abstract/33907A028028>. Acesso em: maio 2018.
- TAVEIRA SERVIÇOS INDUSTRIAIS. **Placas de isopor (poliestireno expandido – EPS)**. 2018. Disponível em: <<http://www.taveira.com.br/produtos/placas-de-isopor-poliestireno-expandido-eps?categoria=todos&pagina=4>>. Acesso em: maio 2018.
- TERMOBRÁS ISOLANTES TÉRMICOS. **Isolamento Térmico: Poliuretano**. 2014. Disponível em: <<http://www.termobras.com/p1.php>>. Acesso em: maio 2018.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agriculture Production**. Abr. 2018a. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>>. Acesso em: abr. 2018.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Sugar**: World Markets and Trade. Maio 2018b. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/sugar-world-markets-and-trade>>. Acesso em: abr. 2018.

UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. **Foundations of LEED**. 2017. Disponível em: <<https://www.usgbc.org/resources/foundations-lead>>. Acesso em: abr. 2018.

VALENTE, Josie Pingret. **Certificações na Construção Civil**: comparativo entre LEED e HQE. 2009. 71 p. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, dez. 2009. Disponível em: <<http://www.monografias.poli.ufrj.br>>. Acesso em: mar. 2018.

VEJELIENE, Jolanta et al. Development of thermal insulation from local agricultural waste. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ENGINEERING, 8., 2011, Vilnius. **Anais...** Vilnius: Vilnius Gediminas Technical University, 2011, p. 437–440. Disponível em: <www.dspace.vgtu.lt/handle/1/1117>. Acesso em: maio 2018.

WORLD GREEN BUILDING COUNCIL. **About green building**: What is green building. 2018. Disponível em: <<https://www.worldgbc.org/what-green-building>>. Acesso em: mar. 2018.

YARBROUGH, David W. et al. Apparent thermal conductivity data and related information for rice hulls and crushed pecan shells. **Thermal Conductivity**, v. 27, p. 222-230, 2005. Disponível em: <www.researchgate.net/publication/237295553_Apparent_Thermal_Conductivity_Data_and_Related_Information_for_Rice_Hulls_and_Crushed_Pecan_Shells>. Acesso em: maio 2018.

YUDELSON, Jerry. **Green building A to Z**: Understanding the language of green building. Gabriola Island: New Society Publishers, 2007.



UNIVATES

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09