



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**SISTEMAS DE FACHADAS VENTILADAS COM ISOLAMENTO
TÉRMICO**

Amanda Martini Spezia

Lajeado, novembro de 2017.

Amanda Martini Spezia

**SISTEMAS DE FACHADAS VENTILADAS COM ISOLAMENTO
TÉRMICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Odorico Konrad

Lajeado, novembro de 2017.

Amanda Martini Spezia

SISTEMAS DE FACHADAS VENTILADAS COM ISOLAMENTO TÉRMICO

Este trabalho foi julgado adequado e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

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

Prof. Me. Rodrigo Spinelli – Avaliador
Universidade do Vale do Taquari

Prof. Me. Vagner Gonçalves Wojcickoski - Avaliador
Universidade do Vale do Taquari

Lajeado, novembro de 2017.

“You can’t connect the dots looking forward; you can only connect them looking backward. So you have to trust that the dots will somehow connect in your future. You have to trust in something — your gut, destiny, life, karma, whatever. This approach has never let me down, and it has made all the difference in my life.”

Steve Jobs

RESUMO

Usados pela primeira vez na década de 80, os termos sustentabilidade e desenvolvimento sustentável ganharam cada vez mais notoriedade perante a sociedade. Sendo a construção civil um dos setores que mais causa impactos ao meio ambiente, é de extrema importância que novas tecnologias construtivas sejam desenvolvidas para poder amenizar esses prejuízos. Análogo ao crescimento da importância das questões ambientais, a preocupação do bem estar das pessoas que utilizam as edificações vem ganhando destaque, principalmente após a norma de Desempenho Térmico, NBR 15575 (ABNT, 2013), que estabelece exigências mínimas de conforto térmico no ambiente. Um dos grandes responsáveis pelo conforto térmico das edificações são as fachadas, tendo em vista o tamanho da sua área que fica submetida a grandes quantidades de radiação solar. Com o avanço das tecnologias e a busca por novas técnicas surge o conceito de fachada ventilada, que tem como principal característica ser um sistema de revestimento afastado da parede externa da edificação, sem vedação, criando uma câmara de ar em movimento. A falta de pesquisa e aplicação deste método construtivo para o isolamento de fachadas, aliada à falta da produção de placas para fachadas ventiladas no país, incentivaram o desenvolvimento deste estudo. Desenvolveu-se um sistema de fachada ventilada elaborada com placas de argamassa e EPS, e o mesmo foi aplicado nas fachadas de um protótipo localizado na latitude de 29° 28' 01", da cidade de Lajeado/RS. Foram feitas as análises dos cálculos de desempenho térmico conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013) e a NBR 15220 (ABNT, 2005), para comprovação dos requisitos mínimos atingidos pelo sistema. Além disto, coletou-se dados de temperatura interna de dois protótipos: um com o sistema de fachada ventilada (protótipo 2) e um sem isolamento térmico (protótipo 1). Os dados foram analisados comparando as temperaturas máximas externas atingidas, e elaborou-se gráficos com a variação de temperaturas externa e interna dos protótipos 1 e 2. Dessa forma, pode-se verificar a eficiência do sistema, tendo em vista que em períodos de calor o protótipo 2 apresentou sempre temperaturas mais brandas e com menor variação de temperatura ao longo do dia. Quando os dados de temperatura são comparados, percebe-se que com o aumento da radiação solar a eficiência da fachada ventilada é elevada, chegando à diferenças de temperatura de mais de 6 °C quando comparada com o ambiente externo e de quase 4 °C quando comparada com o protótipo 1.

Palavras chave: Fachada ventilada. Isolamento térmico. Eficiência energética. Conforto Térmico. Construção Sustentável.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Paradigma da sustentabilidade em relação aos seus três componentes	21
Figura 2 – Diagrama do conforto humano dentro das edificações.....	23
Figura 3 – Sede da Organização das Nações Unidas (ONU).....	24
Figura 4 – Fluxo de energia elétrica ano base 2015	26
Figura 5 – Consumo de energia elétricas nas edificações brasileiras	27
Figura 6 – Trajetória da Terra.....	29
Figura 7 – Esquema explicativo do fenômeno da inércia térmica de uma parede real (q_2) e de uma parede fictícia de peso nulo (q_1).....	32
Figura 8 – Zoneamento bioclimático brasileiro.....	37
Figura 9 – Carta bioclimática adaptada.....	39
Figura 10 – Carta bioclimática para a cidade de Lajeado/RS (médias anuais).....	40
Figura 11 – Mecanismos de dissipação de calor no verão e no inverno.....	45
Figura 12 – Componentes das fachadas ventiladas	45
Figura 13 – Classificação das fachadas por compartimentação da cavidade.....	48
Figura 14 – Quatro tipos de ventilação da cavidade	50
Figura 15 – Detalhe da fixação com <i>insert</i> metálico.....	51
Figura 16 – Fachada ventilada fixada com <i>insert</i> metálico	51
Figura 17 - Fachada ventilada fixada com grampos metálico.....	52
Figura 18 – Fachada ventilada fixada por trilhos.....	53
Figura 19 – Fachada ventilada com aplicação de placas de alumínio composto	54
Figura 20 – Fachada ventilada com aplicação de placas cerâmicas	55
Figura 21 – Fachada ventilada composta por placas de concreto polimérico.....	55

Figura 22 – Fachada ventilada composta por placas de madeira.....	56
Figura 23 – Fachada ventilada composta por placas de naturocimento.....	57
Figura 24 – Fachada ventilada composta por placas de granito.....	58
Figura 25 – Fachada ventilada composta por placas fenólicas.....	58
Figura 26 – Fachada ventilada com aplicação de placas de vidro.....	59
Figura 27 – Detalhes da fachada ventilada com aplicação de placas de vidro.....	59
Figura 28 – Protótipos utilizados	64
Figura 29 – Paredes de vedação e coberturas dos protótipos.....	64
Figura 30 – Projeto do protótipo 1 e protótipo 2 adaptado	65
Figura 31 – Painel de OSB instalado	66
Figura 32 – Localização dos protótipos.....	66
Figura 33 – Sensores de temperatura e umidade DHT03.....	67
Figura 34 – Arduíno Mega.....	67
Figura 35 – Estação meteorológica modelo Instrutemp ITWH-1080 e painel digital.....	68
Figura 36 – Perfil DES-844.....	69
Figura 37 – Grampos simples e duplos utilizados.....	70
Figura 38 – Modelo da placa desenvolvido no <i>SketchUp</i>	70
Figura 39 – Paginação da fachada norte e sul.....	73
Figura 40 – Paginação da fachada leste e oeste	73
Figura 41 – Placa de EPS com tela <i>stuck</i>	75
Figura 42 – Forma sem desmoldante e com desmoldante	76
Figura 43 – Traço sendo feito na betoneira.....	76
Figura 44 – Moldagem da placa	77
Figura 45 – 10 placas prontas	77
Figura 46 – Placas na cura úmida.....	78
Figura 47 – Grampo sendo fixado	79
Figura 48 – Protótipo 2 com a fachada ventilada instalada.....	80
Figura 49 – Chapa de Madeirit instalada na entrada de ar	81
Figura 50 – Fundo preparador à base da água.....	81
Figura 51 – Fachada norte pintada	82
Figura 52 – Corte da parede do protótipo 1	83
Figura 53 – Corte da parede do protótipo 2	83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Situação 1: protótipo 2 com ventilação interna e placas da fachada na cor natural.....	91
Gráfico 2 – Variação de temperatura e radiação solar no dia 10/09/17	92
Gráfico 3 – Variação de temperatura e radiação solar no dia 16/10/17	93
Gráfico 4 – Situação 2: protótipo vedado e placas da fachada na cor natural	95
Gráfico 5 – Variação de temperatura e radiação solar no dia 02/11/17	96
Gráfico 6 – Variação de temperatura e radiação solar do dia 26/10/17	97
Gráfico 7 – Situação 3: protótipo vedado e placas da fachada na cor branca	99
Gráfico 8 – Variação de temperatura e radiação solar do dia 07/11/17	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Absortância para radiação solar (ondas curtas) e emissividade para radiações a temperatura comuns (ondas longas)	31
Quadro 2 – Condições de ventilação para câmaras de ar	34
Quadro 3 – Resistência de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura	35
Quadro 4 – Valores da resistência da superfície interna e externa.....	35
Quadro 5 – Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais.....	37
Quadro 6 – Transmitância térmica máximas em paredes externas	42
Quadro 7 – Capacidade térmica de paredes externas.....	42
Quadro 8 – Composição dos traços	71
Quadro 9 – Resumo dos resultados dos testes de resistência à compressão.....	71
Quadro 10 – Quantificação das placas	74
Quadro 11 – Quantificação dos grampos.....	74
Quadro 12 – Dimensões dos materiais constituintes das paredes de vedação.....	84
Quadro 13 – Resultados do fluxo de calor horizontal.....	84
Quadro 14 – Resultados do fluxo de calor horizontal.....	85
Quadro 15 – Cálculo da capacidade térmica das paredes de vedação	87
Quadro 16 – Cálculo da capacidade térmica das placas da fachada ventilada	88
Quadro 17 – Transmitância térmica e capacidade térmica dos protótipos 1 e 2	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAPEX -	Associação Brasileira do Poliestireno Expandido
ACM -	<i>Aluminium Composite Material</i>
ANEEL -	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE -	<i>American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineering</i>
BBRI -	<i>Belgian Building Research Institute</i>
BEN -	Balanco Energético Nacional
CFC -	Clorofluorcarbonetos
CMMAD -	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CSTB -	<i>Centre Scientifique et Technique Du Batiment</i>
EPS -	Poliestireno Expandido
HPL -	<i>High Pressure Laminates</i>
INMET -	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO -	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IUCN -	<i>International Union for Conservation of Nature</i>
LATEC -	Laboratório de Tecnologias de Construção
MDF -	<i>Medium Density Fiberboard</i>
NBR -	Norma Brasileira Regulamentadora
NIH -	Núcleo de Informações Hidrometeorológicas
OSB -	<i>Oriented Strand Board</i>
PPGAD -	Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento
PROCEL -	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PVA -	Acetato de polivinila

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	15
1.2 Objetivos Específicos	16
1.3 Justificativa	16
1.4 Delimitações	17
1.5 Estrutura.....	17
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	19
2.1 Sustentabilidade.....	19
2.2 Sustentabilidade na Construção Civil	21
2.3 Conforto Térmico nas Edificações	22
2.4 Consumo de Energia nas Edificações	25
2.5 Eficiência Energética nas Edificações	27
2.6 Radiação Solar como Fonte de Calor.....	29
2.7 Propriedades Térmicas de Fechamentos Opacos	30
2.7.1 Absortividade, Refletividade, Transmissividade e Emissividade.....	30
2.8 Inércia Térmica	31
2.9 Normas Brasileiras de Desempenho Térmico	32
2.9.1 ABNT NBR 15220/2005 – Desempenho Térmico de Edificações	32
2.9.1.1 Condutividade Térmica.....	33
2.9.1.2 Resistência Térmica.....	33
2.9.1.3 Transmitância Térmica	36
2.9.1.4 Capacidade Térmica.....	36
2.9.1.5 Zonas Bioclimáticas Brasileiras	37
2.9.2 ABNT NBR 15575/2013 – Edificações habitacionais: Desempenho	40
2.9.2.1 Desempenho Térmico nas Edificações.....	41
2.10 Fachadas Ventiladas em Edificações.....	43
2.10.1 Vantagens das Fachadas Ventiladas em Edificações	46
2.10.2 Classificações das Fachadas Ventiladas em Edificações.....	47
2.10.2.1 Segundo o Tipo de Ventilação	47
2.10.2.2 Segundo o Compartimento da Cavidade	48
2.10.2.2.1 Fachada Contínua	48
2.10.2.2.2 Fachada Corredor.....	49
2.10.2.2.3 Fachada com <i>Shaft</i> Vertical.....	49
2.10.2.3 Segundo o Modo de Ventilação da Cavidade	49
2.10.3 Fixação das Fachadas Ventiladas em Edificações	50

2.10.3.1 <i>Inserts</i> Metálicos	51
2.10.3.2 Grampos Metálicos	52
2.10.4 Materiais Usados como Revestimento de Fachadas Ventiladas	53
2.10.4.1 Alumínio Composto	53
2.10.4.2 Cerâmica	54
2.10.4.3 Concreto Polimérico	55
2.10.4.4 Madeira	56
2.10.4.5 Naturocimento	56
2.10.4.6 Pedras Naturais	57
2.10.4.7 Placas Fenólicas.....	58
2.10.4.8 Vidro	59
2.10.5 Materiais de Isolamento.....	60
2.10.6 Patologias das Fachadas Ventiladas em Edificações	60
3 METODOLOGIA	62
3.1 Tipo de Pesquisa	63
3.2 Protótipos.....	63
3.2.1 Localização dos Protótipos.....	66
3.2.2 Equipamentos.....	67
3.3 Definição dos Materiais Utilizados no Sistema de Fachada Ventilada	68
3.3.1 Grampos.....	69
3.3.2 Placas	70
3.3.2.1 Camada de Resistência	71
3.3.2.2 Camada de Isolamento Térmico	72
3.4 Execução do Sistema.....	72
3.4.1 Confecção das Placas.....	75
3.4.2 Fixação do Sistema	78
3.5 Situações Avaliadas.....	79
3.5.1 Protótipo com Ventilação Natural e Fachada Ventilada na Cor Natural ...	79
3.5.2 Protótipo Vedado e Fachada Ventilada na Cor Natural	80
3.5.3 Protótipo Vedado e Fachada Ventilada Pintada de Branco	81
3.6 Avaliação do Desempenho Térmico.....	82
3.6.1 Seções Analisadas	82
3.6.2 Resistência Térmica das Paredes de Vedação.....	83
3.6.3 Resistência Térmica das Placas da Fachada Ventilada	85
3.6.4 Resistência Térmica Total do Protótipo 1.....	85
3.6.5 Transmitância Térmica do Protótipo 1	86
3.6.6 Resistência Térmica Total do Protótipo 2.....	86
3.6.7 Transmitância Térmica do Protótipo 2	86
3.6.8 Capacidade Térmica das Paredes de Vedação	87
3.6.9 Capacidade Térmica das Placas da Fachada Ventilada	87
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	89
4.1 Desempenho Térmico.....	89
4.2 Avaliação Experimental do Sistema de Fachada Ventilada	90
4.2.1 Avaliação da Situação 1.....	90
4.2.2 Avaliação da Situação 2.....	94
4.2.3 Avaliação da Situação 3.....	98
4.3 Resumo dos Resultados Encontrados.....	101
CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
REFERÊNCIAS.....	104

APÊNDICE A - Planilha de Cálculo de Transmitância Térmica e Capacidade Térmica	111
ANEXO A – Resultado do Teste à Compressão em 7 Dias	114
ANEXO B – Resultado do Teste à Compressão em 14 Dias	115
ANEXO C – Resultado do Teste à Compressão em 21 Dias	116
ANEXO D – Resultado do Teste à Compressão em 28 Dias	117

1 INTRODUÇÃO

O termo sustentabilidade, que tem sido tão debatido atualmente, é relativamente recente na história da humanidade. Ele foi usado pela primeira vez na década de 80, e começou a ganhar destaque com o relatório produzido pela World Commission on Environment and Development, também conhecida por Comissão Brundtland, intitulado “Our Common Future” (BRUNTLAND, 1987). Este relatório aconselhou a busca do desenvolvimento sustentável, de forma com que fosse possível alcançar as necessidades da população sem comprometer a possibilidade das gerações futuras alcançarem as suas necessidades. Daquele momento em diante o termo sustentabilidade e desenvolvimento sustentável ganharam cada vez mais notoriedade perante a sociedade.

Corrêa (2009) expõe que a construção civil existe desde sempre com o intuito de atender as necessidades básicas da humanidade, e que no início não havia a preocupação de utilizar técnicas aprimoradas, muito menos que colaborassem com o meio ambiente. Dessa forma, por ser um setor de grande importância para o país e que consome uma grande quantidade de recursos naturais e de energia, deve-se buscar novas formas e modelos de construção que atendam as necessidades sem causar tantos prejuízos ao lugar em que vivemos. É possível reduzir parte dos impactos negativos que este setor causa ao ambiente, com a utilização de tecnologias que sejam mais eficientes e o emprego da menor quantidade possível de matéria prima e energia, juntamente com a aplicação de materiais renováveis.

Análogo ao crescimento da importância de questões ambientais, a preocupação do bem estar de quem ocupa e utiliza as edificações vem ganhando destaque, o que já é garantido por norma. A norma de desempenho térmico de edificações, NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece exigências mínimas no que condiz ao conforto térmico proporcionado pelo ambiente. Para gerar o conforto ao usuário, um microclima interno é criado com a utilização de equipamentos de resfriamento e aquecimento. A quantidade de energia que estes equipamentos consomem é enorme, sendo assim, segundo Favoino, Jin e Overend (2017) a relação entre o consumo de energia e o envoltório da edificação é inegável. O envoltório dos edifícios é composto por fachada e cobertura, e desses elementos, dependendo da configuração e materiais utilizados, a fachada tem comportamento determinante, tendo em vista o tamanho de área que a compõe e que fica submetida a grandes quantidades de radiação solar.

De acordo com Vedovello (2012), a fachada é um elemento muito importante de uma edificação, pois entre outras características tem a função de agregar valores estéticos, simbólicos e culturais ao empreendimento. No entanto, segundo Sung (2016), a função de grande partes das fachadas é ser apenas uma “cara bonita” aos olhos do público, mas elas podem ser projetadas para fazer muito mais. Oliveira (2009) defende que as fachadas são responsáveis por criarem condições de habitabilidade para a edificação, servindo como mediadora entre o ambiente interno e externo, podendo desempenhar um papel importante em relação à sustentabilidade, principalmente quando elas são projetadas para minimizar seus impactos ambientais.

Com os avanços de novas tecnologias, a criação de novas técnicas e a busca por um melhor isolamento térmico na parte das fachadas, surge a fachada ventilada. Apesar de ser pouco conhecido no Brasil, este novo conceito de fachadas é amplamente utilizado nos países europeus, segundo Campos (2011). As fachadas ventiladas tem como principal característica ser um sistema de revestimento que fica afastado da parede externa da edificação, sem vedação, criando uma câmara de ar em movimento. Esta câmara de ar em movimento funciona graças a princípios básicos da física, por causa da corrente de convecção, o ar frio entra pela parte inferior, é aquecido graças a radiação solar, e então o ar quente sai pela parte superior.

A escolha dos elementos que compõe a fachada é muito importante não só pela identidade do edifício ou desempenho térmico e acústico do mesmo, mas sim porque as fachadas sofrem uma série de patologias. As juntas abertas e o afastamento das placas devem ser dimensionados de forma adequada para que, se a água penetrar, as pressões façam ela escorrer por detrás dos painéis, eliminando as infiltrações na edificação. Segundo Siqueira Jr. (2003), a camada de ar em movimento dispersa o vapor presente no interior das paredes, eliminando a umidade das edificações, e Vedovello (2012) comenta que por causa da camada de ar as paredes ficam protegidas de trocas bruscas de temperatura, ficando assim menos sujeitas a fissuras. As placas da fachada ventilada são presas individualmente e dessa forma ficam livres para se dilatar sem causar a degradação da fachada, e no caso de uma placa precisar ser substituída, pode-se resolver facilmente. Outras vantagens das fachadas ventiladas são sua rápida execução e, segundo Amorin (2015), dependendo do tipo de fixação das placas utilizadas, é possível a reutilização das placas. Além disso, as fachadas ventiladas podem ser utilizadas ainda no caso de restaurações de edifícios.

Este trabalho corresponde a uma pesquisa experimental, composto por uma pesquisa bibliográfica da contextualização do assunto tratado e uma prática experimental, elaborando e verificando o desempenho térmico da aplicação de um sistema de fachada ventilada em um protótipo.

1.1 Objetivos

Avaliar o desempenho térmico de uma placa confeccionada em argamassa e EPS, aplicada a fachada de um protótipo similar ao sistema de fachada ventilada. A avaliação térmica levará em consideração a latitude de 29° 28' 01" da cidade de Lajeado/RS.

1.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- Confeccionar uma placa em argamassa e EPS para fins de utilização em protótipo, com sistema similar ao de uma fachada ventilada;
- Aplicar a placa confeccionada para fins de utilização como sistema semelhante ao de fachada ventilada em um protótipo construído para tal uso;
- Realizar a avaliação do desempenho térmico do sistema, placa e protótipo, próximo ao de uma fachada ventilada.

1.3 Justificativa

Tendo em vista o crescimento da preocupação com a sustentabilidade na construção civil, a redução do consumo de energia, e a crescente preocupação com o desempenho da edificação em relação ao conforto térmico, têm-se a importância da qualidade das edificações. Buscando tais características, surge na Europa no século passado, o método construtivo conhecido como fachada ventilada. Este novo método construtivo é semelhante ao de fachadas duplas, o que os difere é uma câmara de ar que proporciona ventilação natural na fachada da edificação, permitindo a criação de projetos de alta qualidade aliado a solução do problema de isolamento térmicos das edificações atuais.

O Brasil, por ser um país com grandes diferenças térmicas nas estações, além do problema do déficit de energia, necessita da aplicação de novas tecnologias para resolver o problema do grande gasto energético por parte de edificações. Este problema pode ser solucionado através da aplicação de fachadas ventiladas. A justificativa deste trabalho é a falta de pesquisa e aplicação deste método construtivo para o isolamento de fachadas, aliada à falta da produção de placas para fachadas ventiladas no país, e por isto, o alto custo de aplicação desta tecnologia.

1.4 Delimitações

Este trabalho apresenta a aplicação de fachadas ventiladas para o isolamento térmico das edificações, tendo em vista a necessidade da aplicação de novas tecnologias nesta área no Brasil. Este estudo se limita a influência do isolamento térmico em fachadas, desconsiderando a influência de componentes como cobertura e laje dos protótipos. Será feita a quantificação da redução da temperatura interna do protótipo com a aplicação da fachada ventilada comparada a de um protótipo sem isolamento térmico.

1.5 Estrutura

O segundo capítulo deste trabalho aborda uma revisão bibliográfica do surgimento do conceito de sustentabilidade e sua aplicação na construção civil. Subsequentemente são abordados conceitos de conforto térmico, o consumo de energia nas edificações e a relação entre estes dois conceitos: a eficiência energética das edificações. São detalhados tópicos pertinentes à esta pesquisa, como radiação solar, propriedades térmicas de fechamentos opacos e inércia térmica.

Posteriormente, são abordadas as normas de desempenho térmico no Brasil, a NBR 15220 (ABNT, 2005) e a NBR 15575 (ABNT, 2013), que tratam de conceitos importantes para o isolamento térmico das edificações. É apresentado então o sistema de isolamento térmico conhecido como fachada ventilada, seus componentes e características.

O terceiro capítulo deste trabalho explica a metodologia utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa. São abordados os materiais utilizados na elaboração do sistema de fachada ventilada e sua aplicação nos protótipos, assim como os equipamentos de medição utilizados e as variações das situações verificadas, além de cálculos de desempenho térmico para o protótipo 1 e 2 segundo a NBR 15220.

O quarto capítulo apresenta a análise dos resultados encontrados para os cálculos do desempenho térmico dos sistemas de vedação vertical encontrados no protótipo 1 e 2. Além disso, são apresentados os dados coletados nas situações avaliadas em formato de gráficos, assim como a análise dos resultados nos dias mais expressivos.

Por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões encontradas sobre o presente trabalho, baseadas na pesquisa bibliográfica e nos resultados encontrados com a aplicação do sistema similar ao de uma fachada ventilada.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

O referencial teórico do presente estudo apresenta temas diretamente relacionados aos objetivos deste trabalho. Temas como a sustentabilidade e a sustentabilidade na construção civil abordam o início da preocupação do desenvolvimento de técnicas sustentáveis aplicadas a esta área, os fundamentos do conforto térmico, além do uso da energia, no cenário mundial e nacional, assim como a relação do gasto energético e o conforto ambiental, tendo como solução a eficiência energética aplicada a edificações. São trazidos conceitos sobre radiação solar, propriedades térmicas de fechamentos opacos e inércia térmica. As normas de desempenho térmico brasileiras, de grande importância para o desenvolvimento deste projeto, também são abordadas. Por fim, é introduzido o foco do estudo, que é a utilização de fachadas ventiladas para isolamento térmico, cujo principal objetivo é a redução do consumo energético. São abordados ainda os aspectos construtivos deste sistema, assim como as possíveis vantagens e desvantagens do seu uso.

2.1 Sustentabilidade

De acordo com Yılmaz e Bakış (2015), o desenvolvimento tecnológico iniciou-se com a revolução industrial e trouxe uma ideia que o homem dominava a natureza. Todavia, com o passar do tempo, o desenvolvimento econômico global aumentou, ampliando a emissão de gases do efeito estufa, a depreciação da camada de ozônio e o consumo desenfreado de recursos naturais. Surgiu então a preocupação de que o rápido consumo dos recursos naturais pudesse não atender mais as

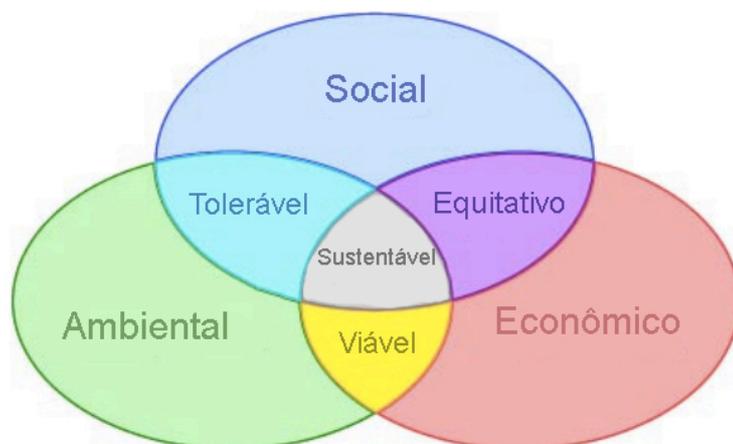
necessidades da humanidade, e que esta insuficiência pudesse frear o desenvolvimento econômico global. No ano de 1983, a Assembleia Geral das Nações Unidas aprovou a resolução 31/161 de título “*Process of Preparation of the Environmental Perspective to the Year 2000 and Beyond*” (Processo de Preparação da Perspectiva Ambiental para o ano 2000 e Além). Essa resolução estabeleceu uma comissão especial, que tinha dentre outros objetivos propor estratégias ambientais de longo termo para alcançar o desenvolvimento sustentável. A comissão adotou o nome de Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), mas ficou conhecida como Comissão Brundtland, sobrenome de Gro Harlem Brundtland, a presidenta da comissão (THEIS, 2012).

Após seções ao redor do mundo, a comissão emitiu o relatório final intitulado *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum), em 1987. “Apesar do Relatório Brundtland não ter tecnicamente inventado o termo “sustentabilidade”, ele foi o primeiro estudo plausível e disseminado mundialmente que examinou seu significado” (THEIS, 2012, p. 6). O relatório definiu desenvolvimento sustentável como o desenvolvimento que atende as necessidades dos presentes sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender as suas próprias necessidades.

Através das décadas, o conceito de sustentabilidade evoluiu, e, segundo Adams (2006, p. 2), “O núcleo do pensamento convencional de sustentabilidade se tornou a ideia de três dimensões: sustentabilidade ambiental, social e econômica.”. Este conceito já foi desenhado de muitas formas, mas o programa da IUCN 2005-2008 adotou em 2005 o modelo apresentado na Figura 1, para melhor demonstrar que os 3 pontos devem estar interligados, com ações para corrigir o balanço entre as 3 dimensões da sustentabilidade.

A interseção dos elementos social e econômico é a base da igualdade social, assim como a interseção entre os interesses econômico e ambientais forma o que é viável. Entre os elementos social e ambiental encontra-se o tolerável, que é o reconhecimento que o funcionamento da sociedade depende dos recursos ambientais e serviços. A junção dos três elementos, social, econômico e ambiental, forma o sustentável (THEIS, 2012).

Figura 1 – Paradigma da sustentabilidade em relação aos seus três componentes



Fonte: adaptado de Adams (2006, p.2) *apud* Theis (2012, p. 7).

2.2 Sustentabilidade na Construção Civil

A construção civil existe desde o primórdio da humanidade, com função de suprir as necessidades do ser humano. O aumento da população ao longo dos anos fez com que o setor da construção civil se expandisse. Corrêa (2009) salienta que no início da construção civil não havia a preocupação de utilizar técnicas aprimoradas. Também não existem registros de consciência do impacto causado pelo consumo desenfreado de recursos naturais ou preocupações com o gasto energético e resíduos produzidos. Theis (2012) explica que quando o consumo de recursos ultrapassou a habilidade de absorção e reposição dos sistemas naturais a preocupação com o desenvolvimento sustentável começou a surgir.

A construção civil é um dos setores que mais consome recursos e energia mundialmente, e conseqüentemente causa grandes prejuízos ao ambiente. De acordo com Dixon (2010), quando analisados os efeitos negativos, a construção civil é responsável por 23% da poluição do ar, 50% da produção de gases do efeito estufa, 40% da poluição da água e 40% da geração de resíduos sólidos. Dessa forma, é essencial e inevitável que práticas sustentáveis venham ganhando mais espaço na construção civil.

“A incorporação de práticas de sustentabilidade na construção é uma tendência crescente no mercado. Sua adoção é “um caminho sem volta”, pois diferentes agentes – tais como governos, consumidores, investidores e associações – alertam, estimulam e pressionam o setor da construção a incorporar essas práticas em suas atividades.” (CORRÊA, 2009, p. 21).

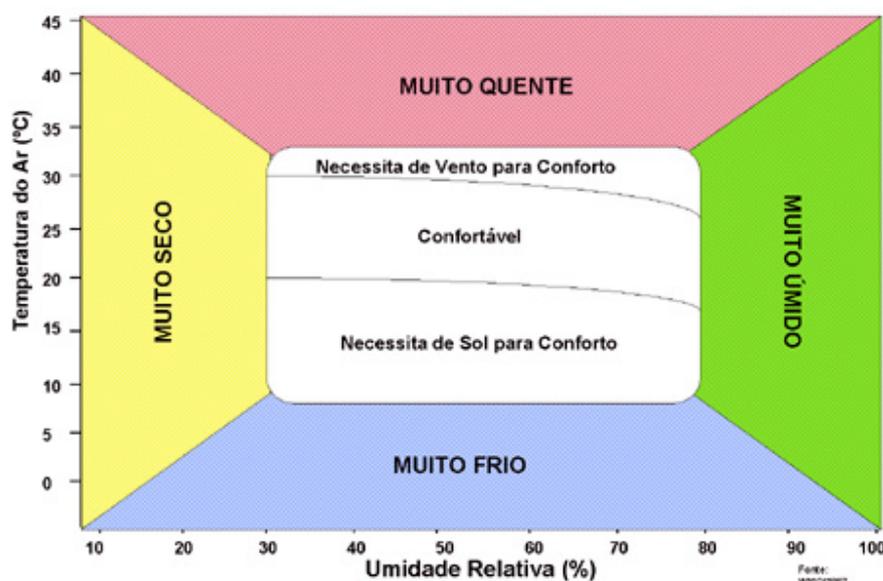
Surge assim o conceito de construção sustentável, que tem como principal objetivo a redução dos impactos gerados. Os princípios de sustentabilidade são aplicados durante toda a vida da edificação, desde o planejamento até a demolição da construção, e o gerenciamento dos resíduos que isto causa. É um processo holístico, que busca a harmonia entre natureza e ambiente construído, tendo como pilar central o projeto da obra (YALMAZ; BALKIZ, 2015).

2.3 Conforto Térmico nas Edificações

A ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*) menciona que o conforto térmico pode ser definido como a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. Dutra, Lamberts e Pereira (2014, p. 46) fazem um complemento ao conceito de conforto térmico, com uma explicação das causas da insatisfação com o mesmo: “A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente”.

Apesar da definição de conforto térmico ser subjetiva, e levar em consideração fatores ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa e velocidade do ar), vestimentas e atividades físicas (DUTRA; LAMBERTS; PEREIRA, 2014), o INMET elaborou o diagrama do conforto humano (Figura 2), que apresenta o nível de conforto em relação a temperatura e umidade do local.

Figura 2 – Diagrama do conforto humano dentro das edificações



Fonte: INMET (2017).

Frota e Sciffer (2001) mencionam que a Comissão Americana da Ventilação realizou os primeiros estudos que se tem registro sobre a relação entre as condições termo-higrométrica e o desempenho no trabalho, em 1916. O foco principal da pesquisa era o trabalho físico do operário, tendo em vista que a revolução industrial era recente na época. Os resultados encontrados foram os seguintes:

- O aumento da temperatura de 20 °C para 24 °C diminui o rendimento do trabalhador em 15%;
- A temperatura em 30 °C com umidade relativa de 80% diminui o rendimento do trabalhador em 28%;
- O trabalhadores de minas tem uma queda no rendimento de 41% quando a temperatura aumentava de 19 °C para 27 °C.

Foi observada ainda uma variação no desempenho conforme a estação do ano. Além disso, alguns estudos associam ambientes com desconforto térmico a índices altos de acidentes no trabalho (FROTA; SCIFFER, 2001).

A humanidade sempre esteve em busca do conforto térmico para melhorar a qualidade de vida. Deste modo, no período antes do desenvolvimento de tecnologias, para alcançá-lo era imprescindível o estudo entre a interação da vegetação, clima e topografia com a edificação (GUIMARÃES, 2013).

Com a chegada da revolução industrial novas tecnologias construtivas e materiais começaram a ser incorporados na construção civil, como o concreto armado, aço e o uso de vidro em larga escala (DUTRA; LAMBERTS; PEREIRA, 2014). No entanto, este estilo de construção foi amplamente difundido a partir da Segunda Guerra Mundial, tendo em vista as grandes mudanças econômicas, sociais e técnicas da época. Manifesta-se assim o estilo internacional de construção, uma vertente do Movimento Moderno, com o conceito *clean*, e conseqüentemente os “edifícios estufa”, prédios altos com imensas cortinas de vidro (Figura 3). Estas características foram adaptadas mundialmente, dando a natureza internacional desse movimento. O edifício apresentado na Figura 3 foi inaugurado em 1952, projetado pelos arquitetos Oscar Niemeyer e Le Corbusier, ambos arquitetos modernistas.

Figura 3 – Sede da Organização das Nações Unidas (ONU)



Fonte: MEISNER (2014).

Apesar de ser um estilo inovador, o conforto térmico adquirido de forma natural foi deixado de lado (DUTRA; LAMBERTS; PEREIRA, 2014). Fontes energéticas, como a queima de combustíveis fósseis e eletricidade, foram usadas para criar de maneira artificial, um microclima interno, com o conforto térmico necessário para a habitabilidade da edificação (HAWKEN; LOVINS, LOVINS, 1999).

Esse novo conceito de edificação se espalhou pelo mundo sem modificações. Ou seja, em países tropicais onde os “edifícios estufa” foram construídos da mesma forma que em países com o clima incompatível com o tropical, a dependência da climatização artificial se tornou ainda mais acentuada (DUTRA; LAMBERTS; PEREIRA, 2014).

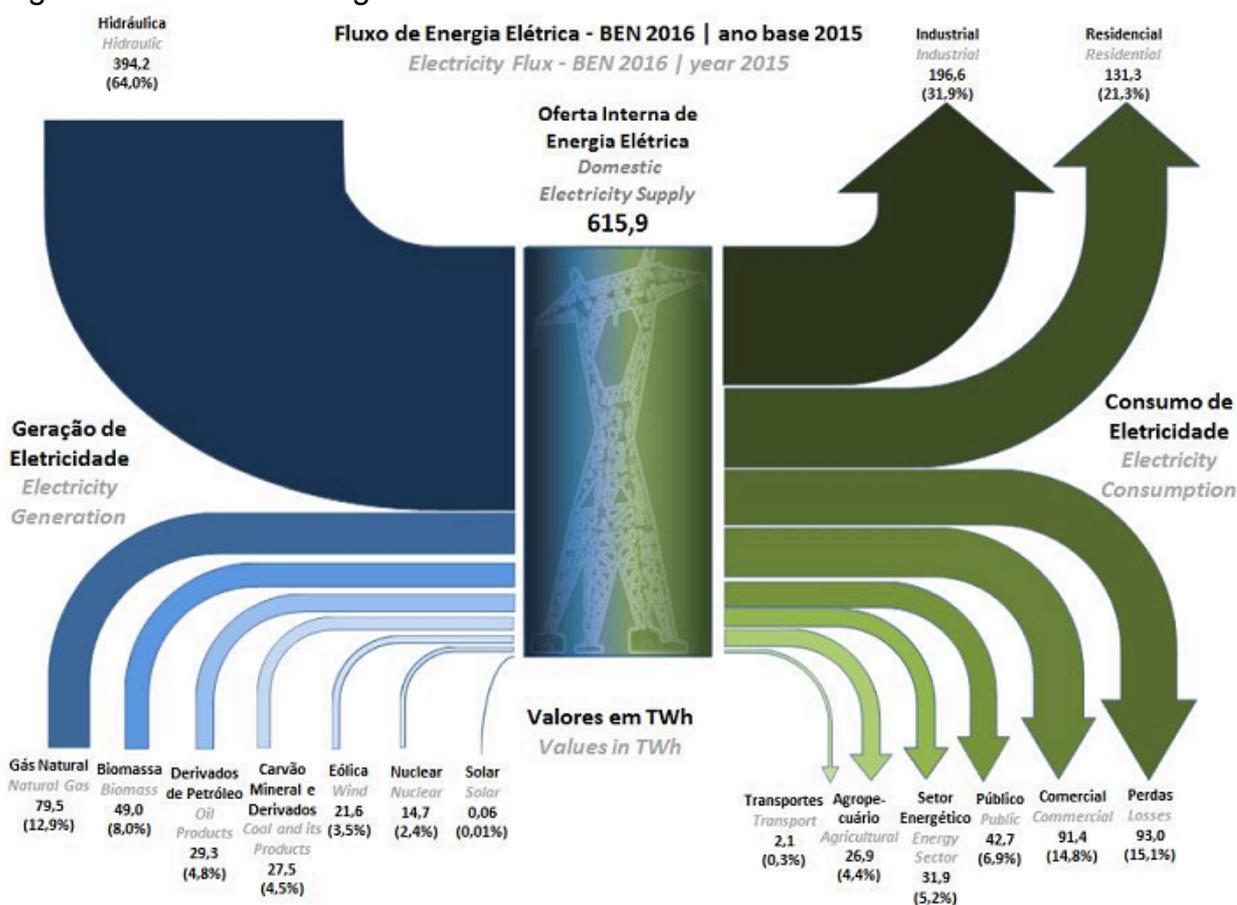
2.4 Consumo de Energia nas Edificações

Segundo o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2008), o consumo de energia é um dos indicadores do nível de desenvolvimento econômico e qualidade de vida de uma população. O aumento no consumo de energia tem relação direta com o aumento do nível de atividades industriais, assim como o aumento do poder aquisitivo da população. Sendo estes os principais motivos do grande crescimento do consumo mundial de energia dos últimos anos.

Em razão ao crescente consumo de energia elétrica, cada vez mais são necessários investimentos massivos na ampliação de fontes de energia elétrica. De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2016 (BEN 2016), elaborado pelo Ministério de Minas e Energia, com base no ano de 2015, a oferta interna de energia elétrica naquele ano foi de 615,9 TWh, sendo a fonte hidráulica sua principal fonte de geração de eletricidade, como mostra a Figura 4. As usinas hidrelétricas, apesar de serem uma fonte de energia renovável e não emitirem poluentes, causam outros impactos ambientais e sociais.

“Um dos maiores problemas encontrados na implantação de uma usina deste tipo, está relacionado ao meio. Este tipo de empreendimento causa impactos graves ao ambiente, podendo infligir danos para a fauna e flora de uma região, causando algumas vezes ainda a alteração de ecossistemas inteiros, não contabilizando ainda a necessidade de muitas vezes deslocar populações inteiras.” (Mari Júnior et al., 2013, p. 26).

Figura 4 – Fluxo de energia elétrica ano base 2015



Fonte: BEN, 2016.

Mundialmente, de acordo com Culp et al. (2012), as edificações e materiais construtivos que as compõe, consomem aproximadamente 40% da energia mundial total, durante todos os estágios da sua vida, desde a construção a demolição. No Brasil, segundo o BEN 2016 (Figura 4), as edificações residenciais, comerciais e públicas, consumiram respectivamente 21,3%, 14,8% e 6,9%, totalizando 43% do consumo nacional de eletricidade.

Entre 2004 e 2006 o PROCEL elaborou o Relatório de Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil, publicado em 2009, que tem como objetivo principal formar o perfil de consumo de energia elétrica dos diferentes setores da economia. Os gráficos do consumo das edificações públicas, comerciais e residenciais a nível nacional são apresentados na Figura 5.

Figura 5 – Consumo de energia elétricas nas edificações brasileiras



Fonte: Adaptado de PROCEL (2009).

Como observa-se na Figura 5, o ar condicionado representa 47% do consumo das edificações comerciais e 48% das edificações públicas. Já nas edificações residenciais, apesar do consumo de energia desse aparelho representar só 20% do consumo total entre 2004 e 2006, Dutra, Lamberts e Pereira (2014), explicam que com o desenvolvimento social, a diminuição dos preços do aparelho e a falta de adequação das edificações em relação ao clima, a aquisição de ar condicionados tende a aumentar, ou seja, o problema tende a agravar com o tempo. É o que apresenta Ortiza, Pérez-Lombard e Pout (2008), seus estudos mostram que o consumo pelo sistema de condicionamento de ar do setor residencial chega a 68% na União Européia e 53% nos Estados Unidos.

2.5 Eficiência Energética nas Edificações

O crescimento descontrolado do consumo de energia elétrica causou uma série de problemas na década passada, conhecida como “crise do apagão”. Durante a crise houve o maior racionamento de energia elétrica da história do país, entre junho de 2001 a fevereiro de 2002 (BARDELIN, 2004). Aliado ao início da propagação do conceito de sustentabilidade e construção sustentável, a eficiência energética de uma edificação passou a ser um conceito muito importante.

Em uma edificação, o desempenho térmico está associado a condição de conforto térmico propiciado ao usuário através da utilização de certa quantidade de energia (CARDOSO, 2009). Quanto menos energia utilizada nesse processo, maior é sua eficiência energética.

Segundo Hawken, Lovins e Lovins (1999) além das novas edificações com maior eficiência energética serem de 70% a 90% mais eficientes energeticamente, elas oferecem outros benefícios econômicos, como: os projetos sustentáveis vendem ou são alugados mais rápido, porque combinam conforto superior com custos operacionais mais baixos; além de possuírem uma estética melhor, eles proporcionam ganhos na produtividade e qualidade do trabalho por causa do conforto térmico; e possuem qualidades de ar interno superiores, melhorando a saúde dos usuários.

Os autores ainda afirmam que, desde a Segunda Guerra Mundial, os Estados Unidos gastou cerca de um trilhão de dólares de capital com a construção de duzentos milhões de toneladas de equipamentos de ar condicionado, além de duzentos mil megawatts de energia no funcionamento desses equipamentos, o equivalente a dois quintos da energia nacional. Sendo que nenhum desses recursos teria sido necessário se os edifícios da época tivessem sido projetados de maneira otimizada, para ter um maior conforto ambiental, e por consequência, melhor desempenho térmico.

Todas as características de uma edificação tem influência no seu consumo de energia: sua geografia e topografia, orientação e radiação solar, localização dentro das zonas bioclimáticas e materiais utilizados na construção. Além disso, ventos e vegetação também podem afetar a quantidade de energia necessária para aquecimento, resfriamento, iluminação e ventilação de uma edificação (BRY SARTÉ, 2010).

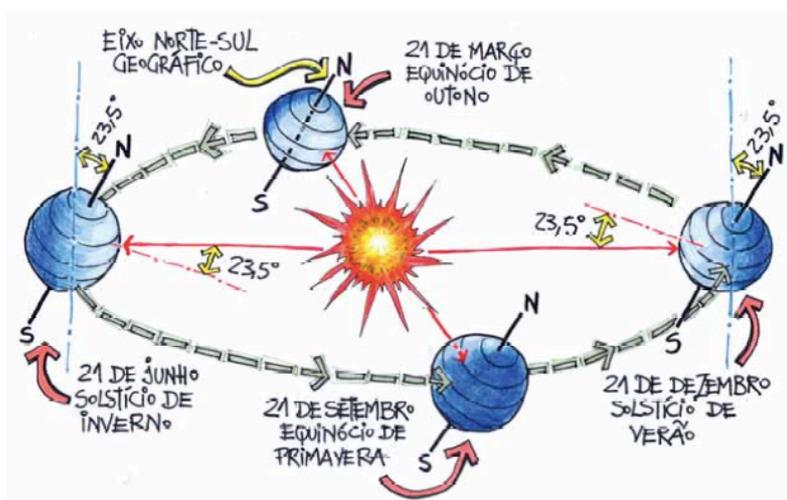
Apesar de serem inúmeros fatores que afetam o consumo de energia de uma edificação, seu envoltório tem participação principal nesse aspecto. Favoino, Jin e Overend (2017) dão destaque para o papel da fachada e cobertura, dizendo que a relação entre o consumo de energia e o envoltório da edificação é inegável. O envoltório de uma edificação é composto por fachadas e coberturas, sendo que a

fachada na maioria das vezes possui área muito superior a cobertura, tendo assim um comportamento dominante em relação à absorção de radiação solar.

2.6 Radiação Solar como Fonte de Calor

Segundo Dutra, Lamberts e Pereira (2014) a radiação solar é fonte de energia mais importante para o planeta, tanto como fonte de calor como de luz. Dessa forma, o sol é um elemento essencial para análises de eficiência energética das edificações. Os autores explicam que a Terra percorre a trajetória elíptica em um plano inclinado de $23^{\circ} 27'$ em relação ao plano do equador, e que é esse ângulo que define as posições dos trópicos. Dessa forma, os dois hemisférios ganham quantidades diferentes de radiação solar durante o ano, o que caracteriza as estações pelos solstícios de inverno e verão e equinócios de outono e primavera. A Figura 6 apresenta a trajetória elíptica da Terra, apresentando os solstícios e os equinócios.

Figura 6 – Trajetória da Terra



Fonte: Dutra, Lamberts e Pereira (2014, p. 115).

Dutra, Lamberts e Pereira (2014, p. 113) afirmam que “A radiação solar é um dos mais importantes contribuintes para o ganho térmico em edifício”. Eles fazem a divisão da radiação para a transferência de calor em cinco partes: radiação solar direta (onda curta), radiação solar difusa (onda curta), radiação solar refletida pelo solo e pelo entorno (onda curta), radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo

céu (onda longa) e radiação térmica emitida pelo edifício (onda longa). A radiação de ondas curtas refletidas pelo entorno depende das características da superfície refletora, ou seja, a medida da quantidade de radiação solar refletida por um corpo, esta característica é conhecida como albedo.

2.7 Propriedades Térmicas de Fechamentos Opacos

A transmissão de calor ocorre quando existe diferença de temperatura externa e interna entre as superfícies de um fechamento opaco (DUTRA; LAMBERTS; PEREIRA, 2014). Tendo em vista que o comportamento térmico dos materiais construtivos dependem das suas propriedades térmicas como a absorvidade, refletividade, transmissividade e emissividade.

2.7.1 Absortividade. Refletividade, Transmissividade e Emissividade

Como dito anteriormente, o comportamento térmico dos materiais dependem das suas propriedades térmicas. São estas propriedades que estabelecem o desempenho dos materiais em relação a radiação térmica incidente (DUTRA; LAMBERTS; PEREIRA, 2014). Os autores explicam que a radiação incidente em um material construtivo tem uma parcela absorvida, uma parcela refletida e uma parcela transmitida. Os valores de cada parcela dependem dos coeficientes de absorvidade, refletividade e transmissividade, e somados correspondem a 100% da radiação incidente.

A absorvidade do material depende principalmente da sua cor superficial. Ou seja, um material com alta absorvidade, absorve a maior parte da radiação, enquanto um material de cor clara absorve uma parcela pequena da radiação incidente. Esta quantidade de radiação absorvida pelo material será dividida em três partes, uma parte aquecerá o material, uma parte o material irá emitir para o ambiente interno e uma parte o material irá emitir para o ambiente externo. A emissividade é a propriedade térmica que domina a quantidade de radiação que é emitida para o ambiente interno (DUTRA; LAMBERTS; PEREIRA, 2014). O Quadro

1 apresenta valores de absorvidade e de emissividades de alguns materiais utilizados neste estudo, retirados da NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Quadro 1 – Absortância para radiação solar (ondas curtas) e emissividade para radiações a temperatura comuns (ondas longas)

Tipo de Superfície	Absortância (α)	Emissividade (ϵ)
Chapa de Alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Concreto aparente	0,65/0,80	0,85/0,95
Telha de barro	0,75/0,80	0,85/0,95
Tijolo aparente	0,65/0,80	0,85/0,95
Pintura branca	0,20	0,90

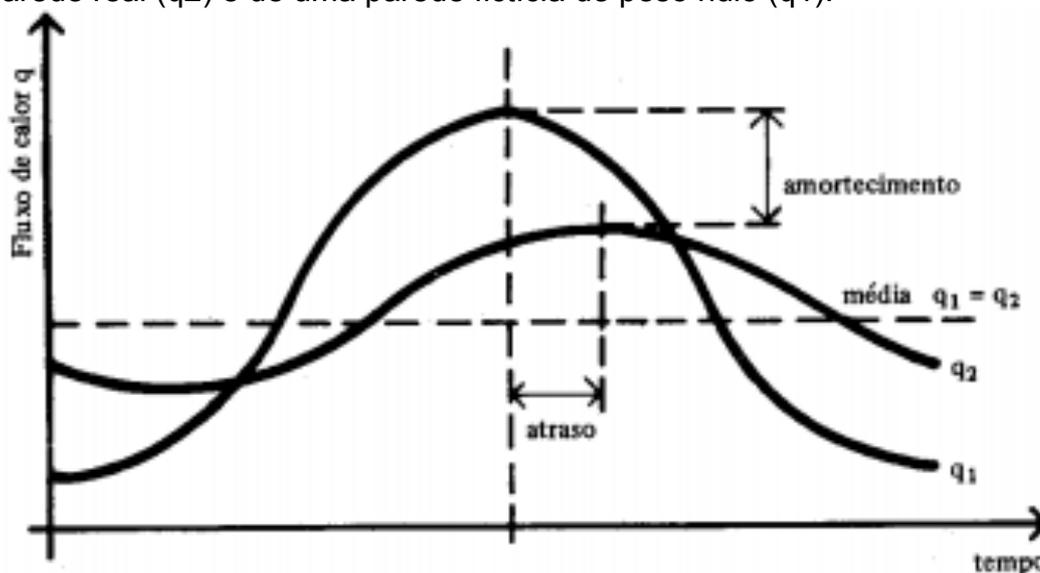
Fonte: Adaptado da NBR 15220-2 (ABNT, 2005, p. 12)

2.8 Inércia Térmica

Dois fenômenos muito importantes para o comportamento térmico da edificação estão associados a inércia térmica: o amortecimento e o atraso de calor. Estas propriedades estão diretamente ligadas ao aquecimento ou ao resfriamento dos materiais (FROTA; SCHIFFER, 2001). A inércia térmica tem relação direta com as propriedades dos materiais que constituem a edificação.

As autoras exemplificam estas propriedades fazendo a suposição de que quando a temperatura externa à edificação se eleva, parte do calor não atravessa de imediato a parede, mas a aquece internamente. Dessa forma, este fluxo de calor inicial atravessa a parede com um certo atraso e com um certo amortecimento quando comparado a uma parede de peso nulo, de acordo com a Figura 7. Ou seja, é o atraso e o amortecimento que compõe a inércia térmica do material.

Figura 7 – Esquema explicativo do fenômeno da inércia térmica de uma parede real (q_2) e de uma parede fictícia de peso nulo (q_1).



Fonte: Frota, Schiffer (2001, p. 49).

2.9 Normas Brasileiras de Desempenho Térmico

Com o crescimento da preocupação com o ambiente e a racionalização dos recursos, o Brasil adotou duas normas referentes ao desempenho térmico, são elas:

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

2.9.1 ABNT NBR 15220/2005 – Desempenho Térmico de Edificações

A NBR 15220 que está em vigor foi publicada pela ABNT em 2005. É um conjunto de normas que trata do desempenho térmico, dividida em 5 partes.

A Parte 1 da NBR 15220 (ABNT, 2005) apresenta definições e seus correspondentes símbolos e unidade de termos utilizados nos cálculos de desempenho térmico. Já a Parte 2 apresenta métodos de cálculo da resistência térmica e transmitância térmica e da capacidade térmica, que serão as equações utilizadas neste estudo. A parte 3 trata do zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Já a parte 4

descreve a medição da resistência térmica e condutividade térmica pelo princípio de placa quente protegida, e a Parte 5, da medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

2.9.1.1 Condutividade Térmica

Conforme a NBR 15220-1 (ABNT, 2003, p. 1) a condutividade térmica (λ) é estabelecida como “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”. A condutividade térmica segundo a norma utiliza a unidade $\text{W}/(\text{m.K})$.

A condutividade térmica dos materiais usuais da construção civil e de materiais isolantes térmicos está presente na NBR 15220-2, Tabela B.3 do Anexo B (ABNT, 2005, p. 13).

2.9.1.2 Resistência Térmica

A resistência térmica de elementos e componentes (R) é definida pela norma como: “Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário” (NBR 15220-1, ABNT 2015, p. 1).

A resistência térmica de um material é igual à dificuldade de transmissão de calor, e é definida pela norma como o quociente entre a sua espessura do material (e) e a sua condutibilidade térmica (λ), conforme a equação 1 a seguir.

$$R = \frac{e}{\lambda} \text{ ((m}^2\text{.K)/W)} \quad (1)$$

Onde:

e = espessura de uma camada (m);

λ = condutividade térmica do material (W/(m.K)).

A NBR 15220-2 (ABNT, 2005) determina que para o cálculo da resistência térmica total de uma parede (R_T), soma-se à resistência térmica do material utilizado, às resistências térmicas da câmara de ar (R_{ar}), presente neste estudo. As camadas de ar podem ser consideradas pouco ou muito ventiladas, de acordo com o Quadro 2. Para câmaras de ar muito ventiladas, que é o caso apresentado neste trabalho, deverá ser feito o cálculo da resistência térmica de acordo com as principais estações de ganho e perda de calor: inverno e verão.

Quadro 2 – Condições de ventilação para câmaras de ar

Posição da câmara de ar	Câmara de ar	
	Pouco ventilada	Muito ventilada
Vertical (paredes)	$S/L < 500$	$S/L \geq 500$
Horizontal (coberturas)	$S/A < 30$	$S/A \geq 30$
Onde: S = área total de abertura da ventilação (cm ²); L = comprimento da parede (m); A = área da cobertura.		

Fonte: Adaptado da NBR 15220-2 (ABNT, 2005, p. 6).

Para o cálculo no período do verão, quando ocorre o ganho de calor, a resistência térmica da câmara de ar ventilada deve ser igual a da câmara de ar não ventilada, e obtida no Quadro 3. No entanto, para o cálculo no período de inverno da câmara de ar ventilada, a camada externa à câmara de ar não será considerada, segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Quadro 3 – Resistência 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 $m^2.K/W$		
		Direção do Fluxo de Calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 \leq e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 \leq e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

NOTAS:
 1 ε = emissividade hemisférica total
 2 Os valores da câmara de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.
 3 Para cobertura, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas, desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies – a inferior – continuará limpa, sem poeira.
 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2005, p. 11).

Ainda no cálculo da resistência térmica de uma parede, acrescenta-se também a resistência térmica superficial do ar externa (R_{se}), e interna (R_{si}), determinadas pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005) conforme o Quadro 4.

Quadro 4 – Valores da resistência da superfície interna e externa

R_{si} ($m^2.K/W$)			R_{se} ($m^2.K/W$)		
Direção do Fluxo de Calor			Direção do Fluxo de Calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,1	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2005, p.10).

2.9.1.3 Transmitância Térmica

O conceito de transmitância térmica (U), de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), é definido como o inverso da resistência térmica total de um componente. A transmitância térmica é representada pela seguinte equação 2.

$$U = \frac{1}{R_T} \text{ [W/(m}^2\text{.K)]} \quad (2)$$

Onde:

R_T = resistência térmica total.

A NBR 15220-3 apresenta no Anexo D, Tabela D.3 (ABNT, 2005, p. 24), os valores de transmitância térmica de algumas paredes e coberturas de edificações, com espessuras e propriedades térmicas definidas.

2.9.1.4 Capacidade Térmica

De acordo com a NBR 15220-1 (ABNT, 2005, p. 2) a Capacidade Térmica (C) é definida como: “Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.”. Já a Capacidade Térmica de um componente (C_T) é a divisão da capacidade térmica de um componente pela sua área, segundo a mesma NBR. A Capacidade Térmica de um componente pode ser determinada segundo a equação 3 abaixo.

$$C_T = e . c . \rho \quad (3)$$

Onde:

e = espessura da camada;

c = calor específico do material da camada;

ρ = densidade de massa aparente do material da camada.

A densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico dos materiais podem ser encontrados na Tabela B.3 da NBR 15220-3 e são mostradas no Quadro 5 para os materiais utilizados neste trabalho.

Quadro 5 – Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais

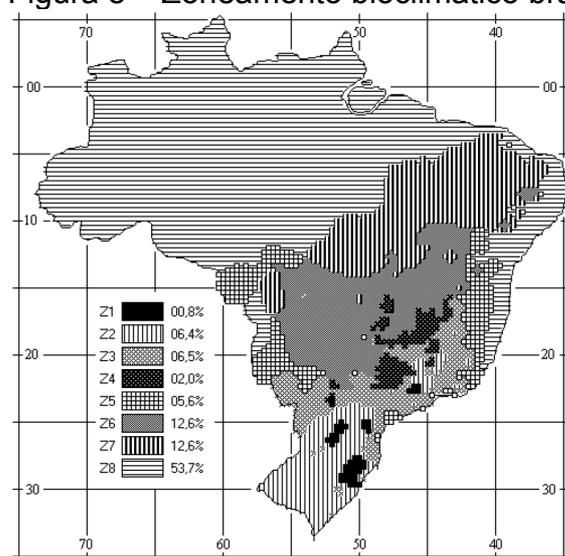
Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	C [kJ/(kg.K)]
Argamassa Comum	1800-2100	1,15	1,00
Concreto I	2200-2400	1,75	1,00
Tijolos e Telhas de Barro	1300-1600	0,9	0,92
Poliestireno Expandido Moldado	15-35	0,040	1,42

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2 (ABNT, 2005, p.13).

2.9.1.5 Zonas Bioclimáticas Brasileiras

A parte 3 da NBR 15220 (ABNT, 2005) trata sobre o zoneamento bioclimático brasileiro, assim como as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, aplicáveis na fase de projeto da edificação. Nesta parte da norma, o Brasil se encontra dividido em oito zonas bioclimáticas (Figura 8), com diretrizes construtivas e indicação de condicionamento térmico passivo para cada uma das zonas.

Figura 8 – Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005, p. 2).

Zona bioclimática é definida pela NBR 15220-1 (ABNT, 2015, p. 7) como “Região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano.”. O principal objetivo das indicações desta norma é a melhoria dos projetos de desempenho térmico das edificações, com uma adequação climática aprimorada.

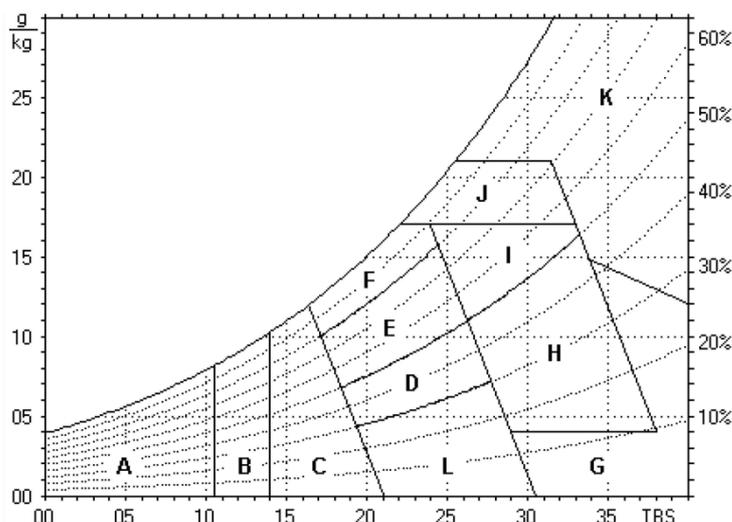
Para a zona 2, onde está localizada a cidade de Lajeado/RS, as diretrizes construtivas são as seguintes:

- a) tamanho das aberturas para ventilação: aberturas para ventilação médias.
- b) proteção das aberturas: sombreamento das aberturas permitindo sol durante o período de frio.
- c) vedações externas: parede leve e cobertura leve e isolada.
- d) estratégias de condicionamento térmico passivo: no verão, ventilação cruzada, e no inverno, aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas, sendo que o condicionamento passivo é insuficiente para os períodos mais frios do ano.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) classifica o território nacional em diferentes zonas, levando em consideração as médias mensais de temperatura (mínimas e máximas), assim como a umidade do ar de 6500 células. Para 330 dessas células levou-se em consideração ainda os dados das normais climatológicas, e para as demais células, o clima foi estimado por interpolação.

As estratégias de condicionamento ambiental indicadas pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) tem como referência a carta bioclimática sugerida por Givoni (1992). A carta bioclimática elaborada é apresentada na Figura 9.

Figura 9 – Carta bioclimática adaptada



Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005, p. 18).

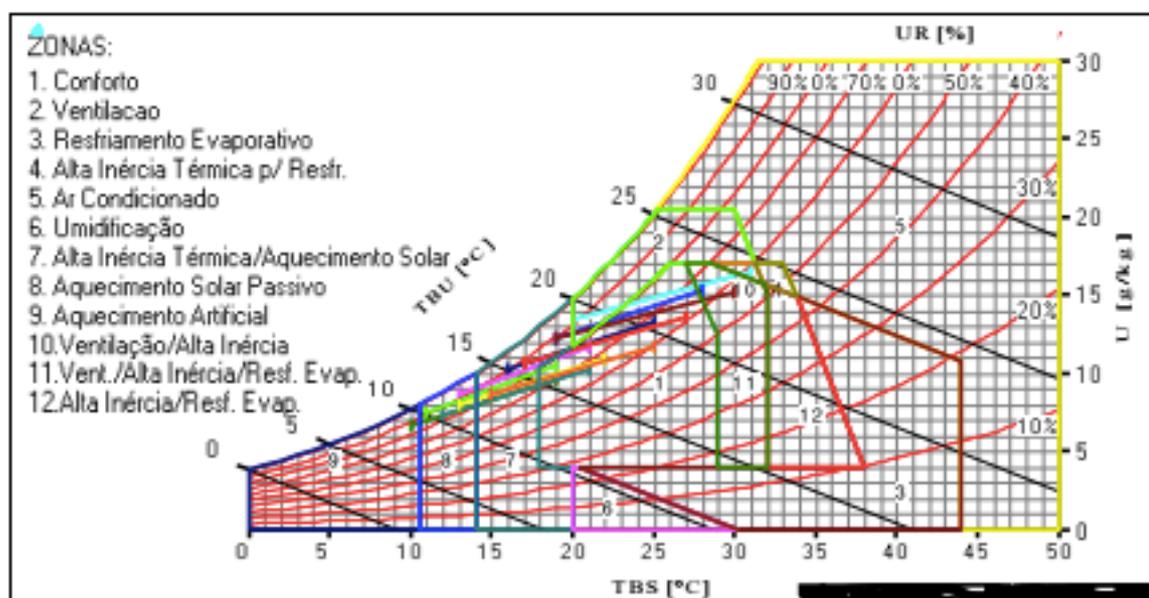
Segundo Lamberts (2016) a classificação das cidades em zonas diferentes depende de algumas estratégias bioclimáticas já definidas, levando em consideração as planilhas de Mahoney para a descrição dos limites das propriedades térmicas dos elementos construtivos (Fator Solar, Atraso Térmico e Transmitância Térmica). A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) classificou as zonas da carta da seguinte maneira:

- Zona A: aquecimento artificial (calefação);
- Zona B: aquecimento solar da edificação;
- Zona C: massa térmica para aquecimento;
- Zona D: conforto térmico (baixa umidade);
- Zona E: conforto térmico;
- Zona F: desumidificação;
- Zona G + H: resfriamento evaporativo;
- Zona H + I: massa térmica de refrigeração;
- Zona I + J: ventilação;
- Zona K: refrigeração artificial;
- Zona L: umidificação do ar.

No entanto, apesar da NBR 15220-3 apresentar estratégias para obter o conforto térmico baseadas na definição das oito zonas bioclimáticas, que cobrem todo território brasileiro, estas estratégias não agem de forma específica para determinado lugar (SPINELLI et al., 2017). Através de levantamentos e análise de

dados climáticos para a cidade de Lajeado/RS, o referido autor elaborou a carta bioclimática para a cidade (Figura 10) com base nas médias anuais.

Figura 10 – Carta bioclimática para a cidade de Lajeado/RS (médias anuais)



Fonte: SPINELLI et al. (2017).

Concluiu-se que em 45,26% do tempo a cidade de Lajeado/RS não precisa de estratégias bioclimáticas para alcançar a zona de conforto térmico. No entanto, em 29,92% do tempo estratégias de alta inércia e aquecimento solar passivo podem ser utilizadas juntas ou separadas. Já as estratégias da Zonas 2, 10 e 11 alcançaram 15% dos dias em um ano, de forma com que se aconselhe a aplicação de estratégias de alta inércia, com aplicação de isolamento térmico da edificação, indicando o possível uso de diferentes materialidades para alcançar tal objetivo (SPINELLI et al., 2017).

2.9.2 ABNT NBR 15575/2013 – Edificações habitacionais: Desempenho

Tendo em vista a importância do desempenho habitacional para a qualidade e longevidade da obra, foi criada a NBR 15575 (ABNT, 2013), buscando atender as exigências dos usuários das edificações habitacionais em relação ao comportamento da edificação durante seu uso. Este conjunto de normas estipula o desempenho de acordo com requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou

premissas) e métodos de avaliação que proporcionam a construção de edificações mais seguras.

A norma é dividida em 6 partes, são elas:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) manifesta as exigências por partes dos usuários com uma lista geral dividida em segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Esta norma de desempenho complementa as normas prescritivas já existentes, sem substituí-la. Ou seja, as normas de desempenho e prescritivas devem ser usadas simultaneamente para atender os desejos dos usuários finais.

2.9.2.1 Desempenho Térmico nas Edificações

De forma geral, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece os critérios de avaliação para o desempenho térmico que as edificações habitacionais devem satisfazer, sendo classificados como mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), com as exigências de acordo com a zona bioclimática, transmitância térmica (U), absorptância e capacidade térmica.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) esclarece que a avaliação térmica pode ser feita da forma simplificada (normativo) ou medição *in loco*, sendo a medição *in loco* de caráter informativo apenas, não sobrepondo o método simplificado. No método simplificado verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios da fachada e cobertura com base na transmitância térmica e capacidade térmica. Caso os critérios não sejam atendidos, deve ser feita a avaliação computacional.

O item 11 da NBR 15575-4 (ABNT, 2013, p. 26) trata do desempenho térmico das vedações verticais externas, apresentando “requisitos e critérios para verificações dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas, conforme definições, símbolos e unidades das ABNT NBR 15220-1 a ABNT NBR 15220-5” (NBR 15575-4, ABNT, 2013, p. 26).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta os valores aceitáveis para a transmitância térmica de paredes externas (Quadro 6), relacionados às zonas bioclimáticas e a absorptância à radiação solar. Além dos valores mínimos aceitáveis para a capacidade térmica das paredes externas (Quadro 7).

Quadro 6 – Transmitância térmica máximas em paredes externas

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

^a α é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT 2013, p. 27).

Quadro 7 – Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (C _T) (kJ/(m ² .K))	
Zona 8	Zonas 1 a 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT 2013, p. 27).

Os cálculos para definir a transmitância térmica e a capacidade térmica das paredes externas devem seguir os procedimentos da NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e devem atender os valores mínimos apresentados nas tabelas. Caso os valores encontrados não atendam os especificados pela norma, será necessário realizar uma simulação computacional que comprove os requisitos mínimos definidos em norma, para dias típicos de verão e inverno. Os dias típicos de verão e inverno são definidos na NBR 15575-1 (ABNT,2013).

No verão, a obra deve apresentar condições térmicas no seu interior melhores ou iguais às condições térmicas do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de verão. Além disso, o valor máximo diário da temperatura do ar no interior de recintos com permanência prolongada (dormitórios e salas) que não tenham

fontes internas de calor (usuários, iluminação, outros equipamentos em geral) precisa ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior, para todas zonas bioclimáticas brasileiras (NBR 15575-1, ABNT 2013).

Já no inverno, as condições térmicas da obra devem ser melhores que as do ambiente externo, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), para o dia típico de inverno, nas zonas bioclimáticas de 1 a 5, nas zonas 6, 7 e 8 não é necessário realizar a avaliação do desempenho térmico para o inverno. Além disso, os valores mínimos diários de temperatura no interior de recintos de permanência prolongada são estabelecidos como sempre maiores ou iguais a temperatura mínima externa acrescida de 3 °C.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) ainda apresenta indicações para avaliação *in loco* do desempenho térmico no Anexo A. Além de indicar no Anexo E valores para o desempenho intermediário e superior, destacando que, para maior conforto, requisitos maiores que o mínimo devem ser atingidos.

2.10 Fachadas Ventiladas em Edificações

O envoltório de uma edificação é composto pelas paredes das fachadas e a cobertura, e tem a tarefa de articular o contato entre a edificação com o ambiente em que ela se encontra. O envoltório de uma edificação tem como função básica criar a condição de habitabilidade da edificação, criando condições térmicas agradáveis no interior da mesma, promovendo assim o conforto térmico dos usuários (OLIVEIRA, 2009).

De acordo com Streicher (2005), novos projetos aplicados aos envoltórios dos edifícios vem surgindo com o passar dos anos e o aumento da consciência ambiental. Aliada a estes fatores, a criação e instituição de normas regulamentadores do comportamento térmico de edifícios vem acontecendo no mundo todo, impondo a adoção de novas práticas.

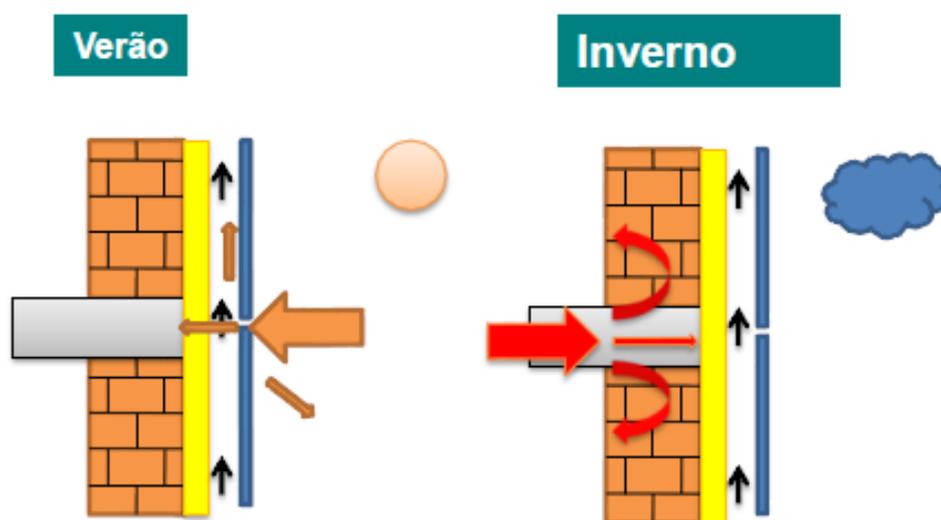
Tendo em vista a grande área da fachada em relação à cobertura, ela tem maior influência nas propriedades correspondentes ao envoltório, e portanto, projetos inovadores nesta área são de extrema importância (SUNG, 2016). Segundo

Guimarães (2013), o sistema construtivo de Fachada Ventilada, objeto de estudo deste trabalho, pode ser considerado uma evolução do modelo construtivo de fachada dupla, através de elementos que proporcionam a ventilação na camada intermediária.

Conforme Kiss (1999), a primeira vez que o termo fachada ventilada foi descrito foi em 1968 na norma francesa “*Directives Communes pour l’Agrement des Façades Légères*” do CSTB (*Centre Scientifique et Technique Du Batiment*). Segundo a norma, para uma fachada ser considerada ventilada, deve haver comunicação com o exterior através de orifícios que possibilitam a ventilação permanente de baixo para cima. Desde a sua concepção, esta tecnologia construtiva foi largamente utilizada na Europa, Ásia e América.

A definição básica de uma fachada ventilada é ser um sistema de proteção e revestimento da edificação, sendo sua principal característica o afastamento entre as paredes do edifício e o revestimento, criando dessa forma uma câmara de ar com ventilação. Ou seja, a fachada ventilada é composta por dois elementos verticais, separados entre si por uma câmara de ar em movimento. Esta câmara de ar em movimento é responsável pela ventilação contínua, através do efeito chaminé (KISS, 1999). Este fenômeno conhecido por efeito chaminé, é descrito da seguinte forma: o ar frio que está dentro da câmara de ar naturalmente ventilada é aquecido pela radiação solar, sua densidade sofre uma variação e ele realiza o movimento de ascensão, pois o ar frio é mais denso do que o ar quente (DUTRA, 2010). A Figura 11 apresenta os mecanismos de dissipação de calor, no verão e no inverno.

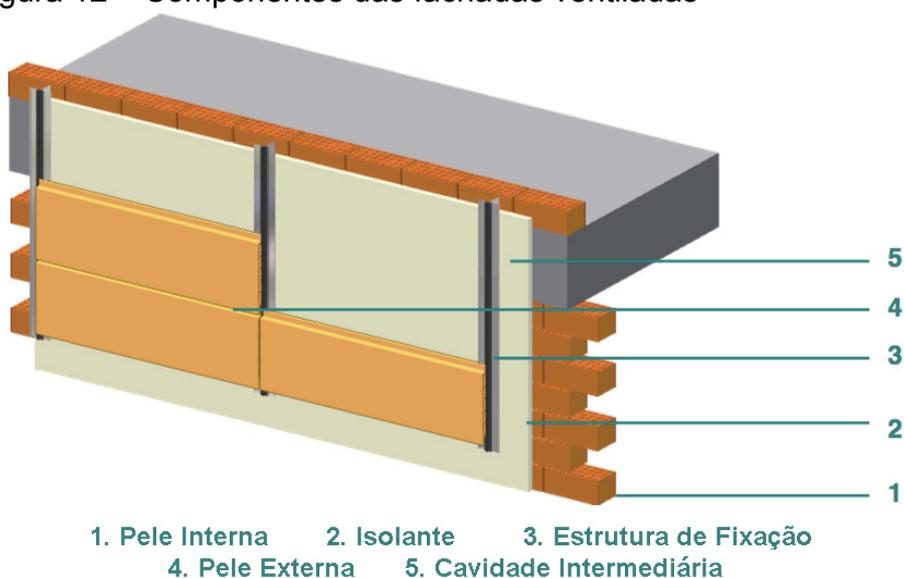
Figura 11 – Mecanismos de dissipação de calor no verão e no inverno



Fonte: Faveton® (2017).

De acordo com a Faveton®, os componentes das fachadas ventiladas englobam principalmente a pele interna, isolante, estrutura de fixação, pele externa e câmara de ar. Estes elementos são abordados na Figura 12. Além dos componentes destacados, são necessárias juntas e cantoneiras para o acabamento final do conjunto.

Figura 12 – Componentes das fachadas ventiladas



Fonte: Adaptado de Faveton®.

1. Pele interna ou base suporte: elemento fixo da edificação, composto por sua estrutura e elementos de vedação. Usualmente é feita uma impermeabilização da pele interna para evitar a ocorrência de patologias (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003).
2. Isolante: deve ser aplicado na pele interna, responsável pela garantia da estabilidade térmica da edificação (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003).
3. Estrutura de fixação: elemento que cria a condição de afastamento, é onde o revestimento é aplicado, sendo assim o suporte do sistema (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003).
4. Pele externa ou revestimento: sua função principal é estética e de proteção da edificação (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003).
5. Cavidade intermediária ou câmara de ar: é a condição essencial do conjunto, pois possibilita a ventilação natural da parede. A espessura da câmara de ar recomendada é entre 30mm e 150mm (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003).

2.10.1 Vantagens das Fachadas Ventiladas em Edificações

Além das vantagens já explicadas anteriormente, como a melhora no conforto térmico e a diminuição da fuga do calor interno, as fachadas ventiladas apresentam outros benefícios. A câmara de ar presente nas fachadas ventiladas faz com que ocorra o arejamento das paredes do edifício, reduzindo a umidade e infiltrações presentes, assim como todas as patologias causadas por estes fatores (MATEUS, 2004). Por apresentar menos patologias e infiltrações (CAUSS, 2014), a vida útil da fachada é muito maior, assim como a manutenção se torna muito mais simples, garantindo a durabilidade do conjunto.

A execução das fachadas ventiladas é rápida e com elevada eficiência, pois as peças já vem da fábrica prontas para instalação, evitando também os desperdícios gerados em obra. Além disso, como está disponível em uma série de acabamentos, dimensões e espessuras, ela pode ser aplicada aos mais diversos edifícios, inclusive os ocupados, porque faz o uso do sistema estrutural já existente em construções tradicionais (MOURA, 2009).

Oliveira (2009), afirma que as fachadas, juntamente com esquadrias e revestimentos, além de serem responsáveis pelas condições de habitabilidade e sustentabilidade, têm a função de valorizar o empreendimento por sua estética. Sousa (2010), complementa que a qualidade estética de uma fachada é essencial para conquistar novos clientes em um mercado tão competitivo, sendo nesse enfoque que o interesse pela fachada ventilada é enquadrado, com as suas variadas soluções de acabamento, o conjunto pode ser capaz de desenvolver uma nova arquitetura, tanto na questão estética, como na eficiência do desempenho térmico.

2.10.2 Classificações das Fachadas Ventiladas em Edificações

O uso em larga escala da fachada dupla fez com que as mesmas assumissem diferentes configurações em relação a ventilação da camada de ar. De acordo com BBRI *apud* Mazzarotto (2010), as fachadas ventiladas podem ser classificadas conforme o tipo de ventilação, compartimentação da cavidade e modo de ventilação da cavidade.

2.10.2.1 Segundo o Tipo de Ventilação

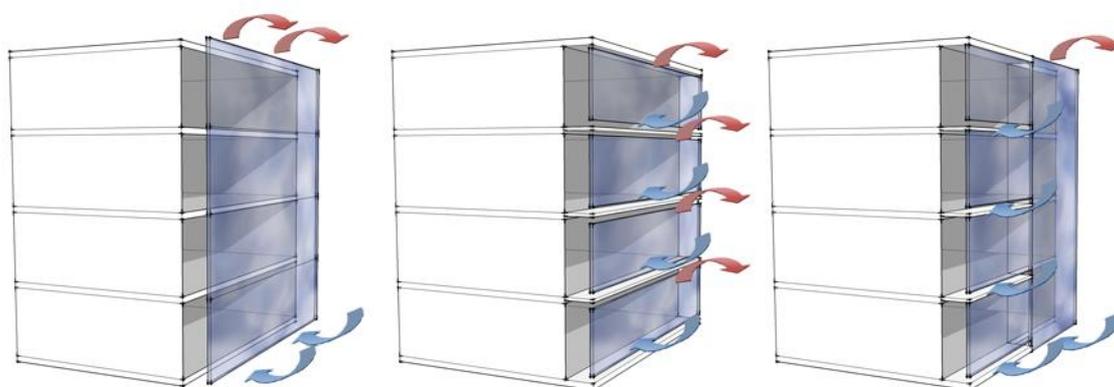
De acordo com o tipo de ventilação, as fachadas ventiladas são classificadas conforme a origem das forças motrizes da ventilação da cavidade, que são divididas em três classificações: natural, mecânica e híbrida (BBRI *apud* MAZZAROTTO, 2010).

A ventilação natural é a solução mais utilizada nas fachadas ventiladas, e não faz o uso de maquinário auxiliar para a movimentação do ar, podem ser chamadas também de fachadas passivas. Já as fachadas mecânicas são implementadas quando o desempenho da fachada ventilada não está adequado, usando equipamentos de ventilação artificial. Este tipo de fachada pode ser chamado também de fachada ativa. Ainda, a ventilação híbrida é a combinação da estratégia natural e mecânica, podendo ser identificadas como fachadas iterativas (MAZZAROTTO, 2011).

2.10.2.2 Segundo o Compartimento da Cavidade

A compartimentação da cavidade, divisão física do espaço intermediário, divide as fachadas ventiladas em três categorias: fachada de múltiplos pavimentos, fachada tipo corredor e fachada tipo corredor com *shaft* vertical (MAZZAROTTO, 2011). A Figura 13 apresenta os três tipos de fachada conforme o compartimento da cavidade.

Figura 13 – Classificação das fachadas por compartimentação da cavidade



Fonte: Mazarotto (2011, p. 63).

2.10.2.2.1 Fachada Contínua

A fachada contínua ou de múltiplos pavimentos tem como característica ter uma única cavidade, de grande volume, sem divisões horizontais ou verticais. A ventilação da cavidade de ar normalmente se dá somente por aberturas próximas ao chão e sobre o telhado da edificação, no entanto, há exceções onde existem aberturas intermediárias (BBRI *apud* MAZZAROTTO, 2010).

As vantagens desse sistema é que por ser composta por uma única cavidade, o efeito chaminé e o isolamento acústico de ruídos do exterior são potencializados. Apesar disso, pode haver a transmissão, através do compartimento de ar, de ruídos entre os diferentes pavimentos da edificação, assim como fumaça e fogo (UUTU *apud* MAZZAROTTO, 2010).

2.10.2.2.2 Fachada Corredor

A fachada corredor representa o tipo em que a cavidade é dividida entre os diferentes pavimentos, por elementos físicos que a segmentam, ou seja, a fachada é contínua no plano horizontal e composta no plano vertical. Ela pode ser dividida dessa forma para maximizar o uso da ventilação natural, diminuir o superaquecimento de andares superiores (CHATHAM; HARRISON; MEYER-BOAKE, 2003), ou também por exigências de isolamento acústico e proteção contra incêndios (BBRI *apud* MAZZAROTTO, 2010).

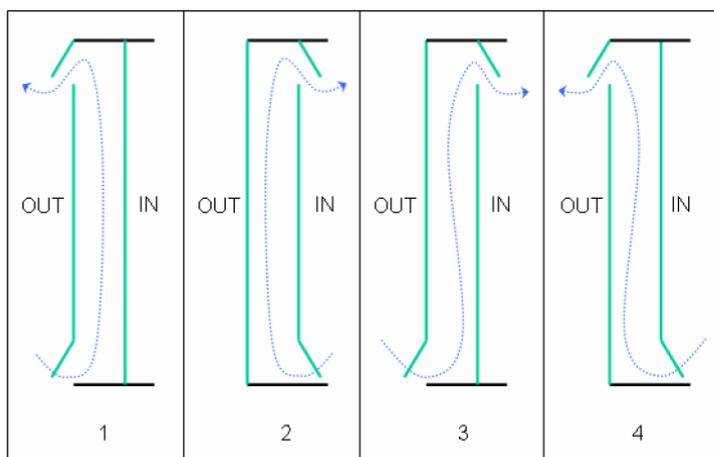
2.10.2.2.3 Fachada com *Shaft* Vertical

Nesta tipologia de fachada há a combinação dos componentes das fachadas contínuas e fachadas corredor. Os corredores de ar horizontal são ligados à cavidade contínua vertical, que configura um *shaft* para garantir a exaustão de ar em cada pavimento (UUTU *apud* MAZZAROTTO, 2010). O ar, quando aquecido, é expulso no *shaft* através da convecção. A principal qualidade desse sistema é aumentar a intensidade do efeito chaminé, utilizando para isto, mais ventilação natural.

2.10.2.3 Segundo o Modo de Ventilação da Cavidade

O modo de ventilação utilizado pela fachada ventilada pode variar em cinco tipos, segundo BBRI *apud* Mazzarotto (2010). No entanto, como um dos tipos de classificação era igual a fachada dupla, sem câmara de ar em movimento, serão apresentados os quatro tipos que se encaixam na classificação das fachadas ventiladas (Figura 14).

Figura 14 – Quatro tipos de ventilação da cavidade



Fonte: Adaptado do BBRI *apud* Mazzarotto (2010).

1. Cortina de ar exterior: a origem e o destino do ar que circula na fachada ventilada é o exterior da edificação;
2. Cortina de ar interno: a origem e o destino do ar que circula na fachada é o interior da edificação;
3. Suprimento de ar: o ar que circula na cavidade tem sua origem no exterior da edificação e vai para o interior da mesma;
4. Exaustão de ar: o ar que circula na cavidade tem como origem a edificação e é expelido para o exterior.

2.10.3 Fixação das Fachadas Ventiladas em Edificações

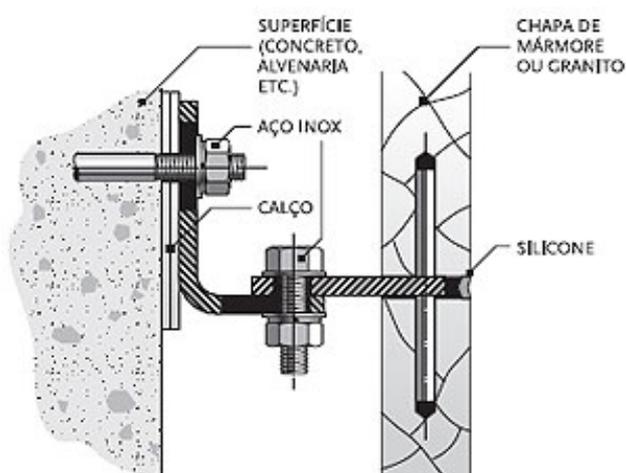
A fixação do revestimento pode ser feita de diferentes maneiras, direta ou indiretamente no suporte (SOUSA, 2010). As formas de fixação direta mais utilizadas são através de *inserts* metálicos, no interior das peças, ou apoiando-as, em grampos metálicos. Para fixação pontual é recomendado que a parede seja composta por materiais maciços, para garantir a boa fixação do sistema.

Já a fixação indireta, de maior utilização, é feita através do uso de trilhos, podendo ter elementos verticais, horizontais, ou ambos (SOUSA, 2010). Em seguida, são apresentadas estas soluções.

2.10.3.1 *Inserts* Metálicos

Os *inserts* metálicos originalmente foram produzidos para fixar placas de pedras, como mármore e granitos, em fachadas. Eles ficam ancorados na estrutura do edifício e conectam as placas entre si, fixando na estrutura do suporte (CARDOSO, 2009), suportando os esforços horizontais através da resistência transversal ao corte. A Figura 15 mostra os detalhes da fixação com *inserts* metálicos, e como pode ser visualizado na Figura 16, eles ficam ocultos pelo revestimento.

Figura 15 – Detalhe da fixação com *insert* metálico



Fonte: Nakamura (2009).

Figura 16 – Fachada ventilada fixada com *insert* metálico



Fonte: Dutra (2010, p. 8).

2.10.3.2 Grampos Metálicos

Segundo Sousa (2010), no sistema de fixação com grampos metálicos, as peças de revestimento ficam apoiadas, suportando o peso da mesma e a fixando na fachada. Nesse sistema a fixação fica exposta, como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Fachada ventilada fixada com grampos metálico



Fonte: Dutra (2010, p. 8).

2.10.3.3 Fixação por Trilhos

O funcionamento desse sistema de fixação é muito parecido ao dos grampos metálicos, as peças ficam apoiadas em trilhos compostos por perfis de alumínio, em todo o seu comprimento. É utilizado em sua maioria por revestimentos pesados e com grandes espessuras, tendo em vista a necessidade do entalhe para encaixe (SOUSA, 2010). Este tipo de fixação fica oculta, e por não ser necessária a perfuração do revestimento, é executado com mais agilidade. A Figura 18 apresenta este tipo de fixação.

Figura 18 – Fachada ventilada fixada por trilhos



Fonte: Construlink.com (2006, p. 3).

2.10.4 Materiais Usados como Revestimento de Fachadas Ventiladas

Inúmeros materiais podem ser utilizados na execução do pano de uma fachada ventilada, devido aos avanços tecnológicos dos últimos anos. Este aspecto é de vital importância, pois, tendo em vista que as fachadas ventiladas são um sistema modular de grande facilidade e eficácia de execução, é essencial a disponibilidade de uma grande gama de materiais e dimensões para aplicação como revestimento das mesmas (SOUSA, 2010). Diversos materiais usados no revestimento de fachadas tradicionais vem sendo adaptados para o uso em fachadas ventiladas (GUIMARÃES, 2013). Alguns desses materiais serão abordados a seguir.

2.10.4.1 Alumínio Composto

O metal mais utilizado no revestimento de fachadas ventiladas é o alumínio, como mostra a Figura 19, em placas constituídas basicamente por duas lâminas de alumínio e um núcleo central de polietileno, resistente ao fogo, à vibrações e à exposição a intempéries diversas (OLIVEIRA, 2011). Estas peças são conhecidas como placas ACM (*Aluminium Composite Material*) (MENDES, 2009).

Figura 19 – Fachada ventilada com aplicação de placas de alumínio composto



Fonte: Prefa Itália (2017).

Tendo em vista a maleabilidade do alumínio, é possível que as placas possuam diferentes formas e padrões, sem perder suas características, além da alta resistência à intempéries, à corrosão e baixa densidade. A espessura das placas varia, além de poderem ser moldadas em obra, através de máquinas específicas, garantindo sua vasta aplicação (CAUSS, 2014).

2.10.4.2 Cerâmica

Os painéis cerâmicos são todos os que são produzidos através do cozimento da argila, e possuem diferentes dimensões e espessuras (BAZZOCCHI *apud* DUTRA, 2010). A utilização de placas cerâmicas no pano exterior tem inúmeras vantagens, como grande eficiência térmica, leveza, durabilidade e resistência. A fixação desses elementos é através de *inserts*, grampos metálicos, ou em forma de régua com sistema de encaixes, podendo a fixação ser móvel. A Figura 20 apresenta uma fachada ventilada com placas cerâmicas.

Figura 20 – Fachada ventilada com aplicação de placas cerâmicas



Fonte: Faveton ®.

2.10.4.3 Concreto Polimérico

As placas de concreto polimérico (GUIMARÃES, 2013) ou Betão polímero (SOUSA, 2010), utilizam placas pré-fabricadas, compostas por agregados de sílica, quartzo e ligados por resinas de poliéster. Possui elevada resistência mecânica, além de estanqueidade à água e resistência a gelo. As placas possuem espessuras, dimensões, texturas, acabamentos e cores variadas, e são fixadas direto sobre o pano interior da fachada (Figura 21).

Figura 21 – Fachada ventilada composta por placas de concreto polimérico



Fonte: ULMA, 2017.

2.10.4.4 Madeira

Segundo Sousa (2010), as placas desse tipo de revestimento podem ser compostas por madeira maciça ou derivados de madeira. O autor diz ainda que a madeira maciça passa por uma série de tratamentos, como a exposição à elevadas temperaturas, para aumentar a sua resistência mecânica e aos agentes atmosféricos. Os elementos são limitados pelas dimensões dos troncos, de forma que o padrão ripado mostrado na Figura 22 é o mais adotado.

Figura 22 – Fachada ventilada composta por placas de madeira



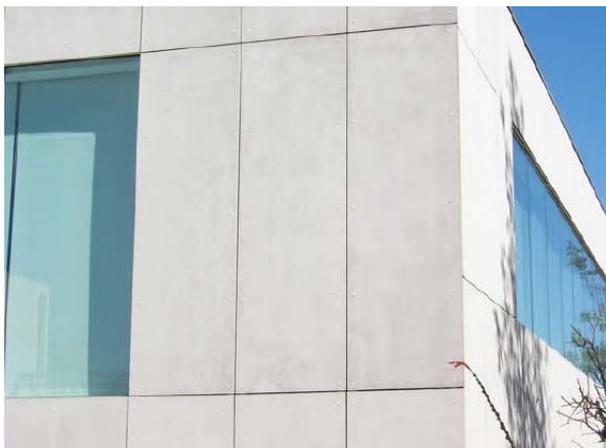
Fonte: Sousa, 2010, p. 41.

Os derivados de madeira englobam painéis de OSB, MDF, painéis de madeira com cimento, e de partículas de madeira. Estas placas também passam por diversos tratamentos para aumentar sua resistência, mas suas dimensões podem ser variadas, diferente das placas de madeira maciça (SOUSA, 2010).

2.10.4.5 Naturocimento

De acordo com Sousa (2010) este material (Figura 23) surge em resposta às preocupações com a sustentabilidade, pois possui um baixo consumo de recursos naturais e é isento de amianto. Os painéis são constituídos de cimento Portland, fibras de reforços em PVA, fibras de celulose, sílica amorfa, aditivos e água. Apresentam diferentes cores e texturas, além de diversas dimensões e espessuras.

Figura 23 – Fachada ventilada composta por placas de naturocimento



Fonte: Sousa, 2010, p. 31.

2.10.4.6 Pedras Naturais

As pedras naturais são o sistema mais conhecido, tendo em vista sua ampla aplicação no sistema de fachadas cortina. Elas apresentam grande resistência e durabilidade, além da sua estética que valoriza a edificação. Mendes (2009), afirma que somente alguns tipos de pedras naturais podem ser utilizados como fachadas ventiladas, pois é necessário que o material tenha certas condições de resistência mecânica, dureza, porosidade, trabalhabilidade, durabilidade e aparência. Sousa (2010), identifica os tipos de rochas mais utilizadas no revestimento de fachadas ventiladas em Portugal: Granito (Figura 24), basalto, calcário, mármore e ardósia. A pedra natural ainda recebe tratamentos de acabamento, de acordo com suas características. Por ter elevada densidade, são necessários cuidados com o sistema de fixação, que geralmente é feito com o uso de *inserts* ou grampos metálicos.

Figura 24 – Fachada ventilada composta por placas de granito

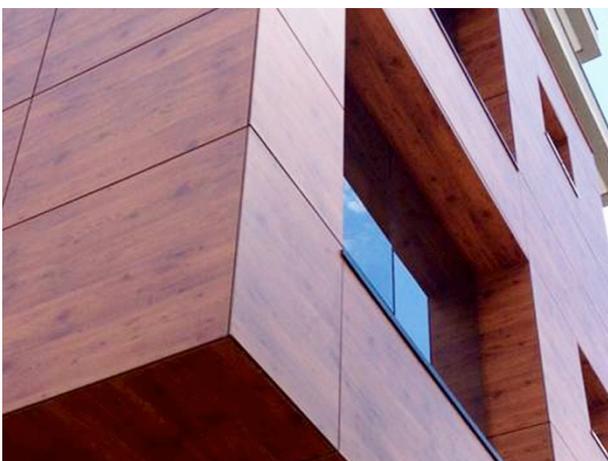


Fonte: VSB PISO DE GRANITO, 2016.

2.10.4.7 Placas Fenólicas

As placas fenólicas são compostas por diversas camadas de substâncias naturais, como as fibras de celulose, que são impregnadas com resinas fenólicas para garantir a estabilidade e rigidez, além de uma película protetora, de resina melamínica. São conhecidas por HPL (*High Pressure Laminates*), e possuem diferentes espessuras e dimensões, apesar de possuírem uma durabilidade média, principalmente quando expostas às radiações ultravioleta (DIREITO, 2011). A Figura 25 apresenta uma fachada ventilada composta por placas fenólicas.

Figura 25 – Fachada ventilada composta por placas fenólicas



Fonte: Favegrup, 2017.

2.10.4.8 Vidro

A estética causada pela aplicação desta fachada é muito parecida com a fachada cortina, no entanto, seu sistema construtivo é diferente. Sousa (2010) afirma que as fachadas de vidro são uma boa opção para obras de *retrofit*, onde a manutenção da fachada original não é necessária.

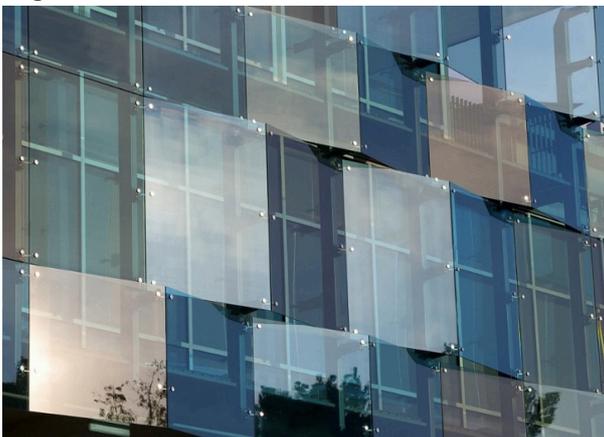
Esse revestimento pode ser sustentado de forma com que a estrutura não seja visível da parte externa, e permite a possibilidade de aberturas para o interior da cavidade de ar, permitindo um melhor acesso a limpeza da mesma, além de uma melhor regulação da temperatura interna e externa. Sousa (2010) cita ainda os tipos de vidro mais utilizados: impressos, refletivos, temperados, laminados e aramados. Que podem ter diferentes formatos devido a seu processo de fabricação. As Figuras 26 e 27 apresentam um prédio revestido com fachada ventilada com a aplicação de placas de vidro.

Figura 26 – Fachada ventilada com aplicação de placas de vidro



Fonte: Meinhold, 2011.

Figura 27 – Detalhes da fachada ventilada com aplicação de placas de vidro



Fonte: Meinhold, 2011.

2.10.5 Materiais de Isolamento

Nas últimas décadas, uma série de materiais para isolamento térmico foram desenvolvidos. Isto se deve em parte ao desenvolvimento de novas tecnologias, e à crescente preocupação com a eficiência energética de edificações, explicadas anteriormente. Dutra (2010) comenta diversos materiais utilizados como isolamento térmico, entre eles:

- Lã Mineral: é produzida à base de rocha liquefeita, não inflamável, e com bom desempenho como isolante térmico e acústico, ademais, possui diferentes espessuras e podem ser aglomeradas com resinas repelentes à água;
- Poliuretano: algumas das características desse material são a facilidade de montagem, baixa condutibilidade térmica, alta resistência térmica, evita condensações, facilidade de limpeza, estanque à água, durabilidade, facilidade de instalação;
- Poliestireno Expandido (EPS): é um dos materiais mais utilizados para isolamento térmico, tendo em vista seu custo-benefício. Algumas das suas vantagens são: leveza, fácil manuseio, durabilidade, e pode ainda ser resistente ao fogo.

2.10.6 Patologias das Fachadas Ventiladas em Edificações

Todos conjuntos e componentes construtivos estão sujeitos a apresentação de patologias, principalmente as fachadas, por estarem sempre em contato com ações ambientais. As fachadas ventiladas apesar de estarem menos suscetíveis as patologias quando comparadas as fachadas tradicionais, ainda sofrem algumas manifestações (CAUSS, 2014). As patologias mais recorrentes nas fachadas ventiladas são apresentadas a seguir.

- Variação na cor do revestimento: a principal causa dessa alteração é o contato com poluentes e a má qualidade do material aplicado (CAUSS, 2014);

- Oxidação dos elementos de fixação: é recomendado o uso de materiais inoxidáveis, pois como as fachadas ficam expostas as mais diversas condições ambientais, pode ocorrer a corrosão nos elementos de fixação, o que acarreta inclusive na formação de manchas nos revestimentos (DIREITO, 2011);
- Quebra ou fissuração do revestimento: pode ocorrer a quebra ou fissuração de elementos caso o sistema de fixação não tenha sido executado de forma adequada. Outra causa desta patologia é a falta de juntas de dilatação, para assegurar a dilatação dos materiais (DIREITO, 2011);
- Desprendimento de placas: uma das principais preocupações sobre o sistema de fachadas ventiladas, e se deve principalmente a execução do sistema de forma incorreta, baixa qualidade do material utilizado como revestimento ou ao projeto de fixação mal concebidos (DUTRA, 2010).

Dessa forma, o controle da qualidade dos revestimentos e da execução do sistema é de fundamental importância. Por ser um sistema construtivo muito novo no Brasil, não existem normas que regulamentem as fachadas ventiladas, mas as empresas desta área devem estar cientes dos padrões necessários para a boa execução do projeto (DIREITO, 2011). Para isto, é necessário mão de obra qualificada, uso de materiais de qualidade e o uso correto das técnicas utilizadas (CAUSS, 2014).

3 METODOLOGIA

O propósito deste capítulo é apresentar e explicar os métodos utilizados na elaboração da pesquisa sobre sistemas de fachada ventilada com isolamento térmico, com a finalidade de cumprir com os objetivos apresentados previamente neste trabalho. Para justificar o uso de sistemas de fachada ventilada com isolamento térmico, nas partes anteriores do trabalho foi feita a exposição do problema, seu surgimento, a situação atual e possíveis soluções do mesmo, com o propósito de justificar a importância da redução do consumo de energia por parte das edificações. Com tal finalidade, foi apresentada a contextualização do tema através da pesquisa de artigos, dissertações, normas, trabalhos de conclusão e livros.

Finalizada a contextualização, inicia-se a parte experimental do estudo, onde um sistema de fachada ventilada com isolamento térmico foi elaborado e aplicado em um protótipo pré-existente. Este protótipo foi construído em um estudo de dissertação de mestrado desenvolvido junto ao PPGAD da Universidade do Vale do Taquari, e está localizado em frente ao prédio 17 da instituição.

A verificação do desempenho térmico do protótipo seguiu as indicações dos métodos avaliativos apresentados na NBR 15575 (ABNT, 2013). Os cálculos da transmitância térmica e capacidade térmica para os dois protótipos seguiram as indicações da NBR 15220-2 (ABNT, 2005), para comprovação do cumprimento das exigências mínimas de um sistema de vedação vertical, apresentadas na NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Com o objetivo de analisar a diferença de temperatura entre o ambiente interno do protótipo e o ambiente externo, coletou-se dados de três possíveis situações do sistema de fachada ventilada elaborado: placas na cor natural e ventilação interna natural do protótipo, placa na cor natural e vedação do protótipo e placas na cor branca e vedação do protótipo. Para a coleta de dados do ambiente interno do protótipo, sensores de temperatura e umidade DHT03 foram utilizados. Através de um processador Arduíno estes dados coletados pelos sensores são armazenados em um cartão de memória e baixados para o computador em formato de planilha eletrônica. Já a coleta de dados da temperatura externa acontece através da estação meteorológica instalada previamente próxima aos protótipos. Todos estes equipamentos foram utilizados na dissertação previamente mencionada, e disponibilizados pelo respectivo autor para o uso neste trabalho.

3.1 Tipo de Pesquisa

Este estudo se enquadra como uma pesquisa experimental. De acordo com Gil (2006) *apud* Chemin (2015, p. 61) este tipo de pesquisa “consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo e definir as formas de manipulação, controle e observação dos efeitos que a variável produz no objeto”.

3.2 Protótipos

Os dois protótipos que serão utilizados neste estudo, foram projetados e construídos para atender o projeto de dissertação de mestrado de Rodrigo Spinelli (SPINELLI, 2015), desenvolvido junto ao PPGAD da Universidade do Vale do Taquari. A Figura 28 apresenta os dois protótipos que serão utilizados.

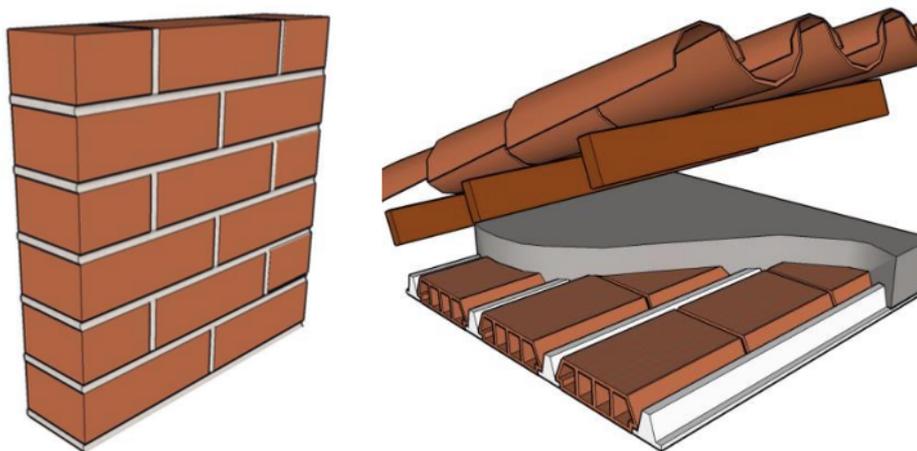
Figura 28 – Protótipos utilizados



Fonte: da Autora, 2017.

Os protótipos foram construídos em alvenaria, blocos cerâmicos maciços, com juntas verticais e horizontais de 1,5 centímetros de argamassa, de traço tradicional, composto por cimento e areia. As paredes de vedação não possuem reboco e pintura e os blocos cerâmicos tem dimensões de 11 cm x 5,5 cm x 19 cm. Já as lajes foram executadas com o sistema pré-moldado de vigota e tavela, e aplicação de telhas cerâmicas como cobertura. As paredes de vedação e a coberturas dos protótipos são mostradas na Figura 29.

Figura 29 – Paredes de vedação e coberturas dos protótipos

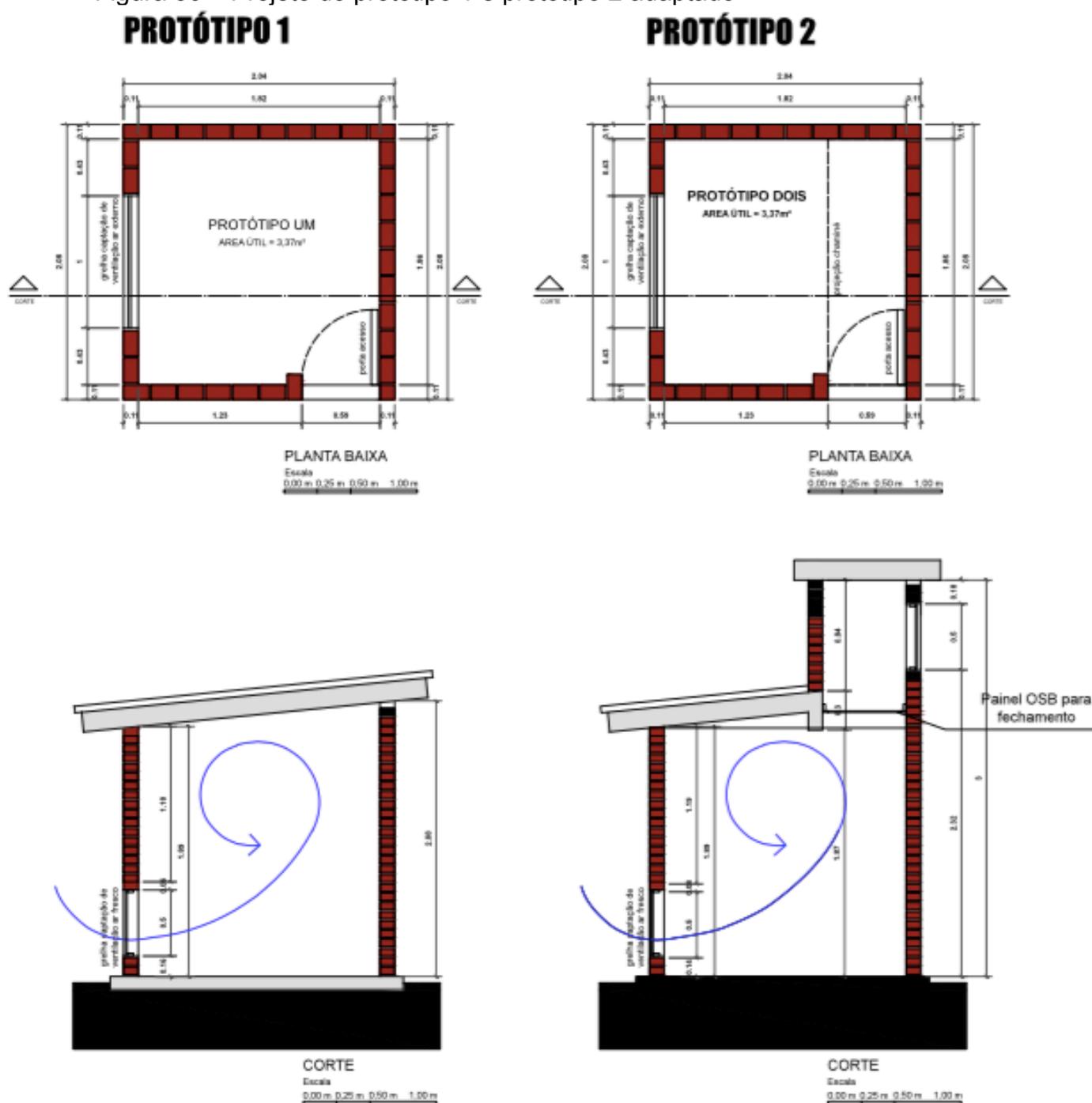


Fonte: Anexo Geral V - Portaria INMETRO N° 50 / 2013.

A fundação dos protótipos é do tipo *radier*. De acordo com Veloso e Lopes (2012), *radier* é uma fundação superficial, composta por uma camada de concreto armado sobre o solo, que faz com que a distribuição das cargas seja de forma uniforme.

Os protótipos utilizados neste estudo possuem orientação norte, sendo o protótipo que receberá a aplicação do sistema de fachada é o protótipo 2. O protótipo 2 foi adaptado com um fechamento através da instalação de um painel de OSB na parte superior, para ter condições de ventilação e área interna similares ao do protótipo 1, conforme as Figuras 30 e 31. O protótipo 2 será comparado ao protótipo 1, que não sofrerá alterações.

Figura 30 – Projeto do protótipo 1 e protótipo 2 adaptado



Fonte: Adaptado de Spinelli, 2015.

Figura 31 – Painel de OSB instalado



Fonte: da Autora, 2017.

3.2.1 Localização dos Protótipos

Os protótipos utilizados foram construídos no Campus da Universidade do Vale do Taquari, na Cidade de Lajeado/RS, em frente ao LATEC (Laboratório de Tecnologias da Construção), próximo ao prédio 17. A latitude local é de 29°26'55" S e longitude 51°56'42" W, com altitude de 44 metros. A Figura 32 apresenta a localização dos mesmos.

Figura 32 – Localização dos protótipos

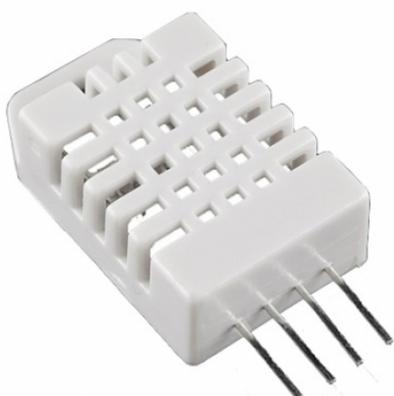


Fonte: Adaptado de UNIVATES, 2017.

3.2.2 Equipamentos

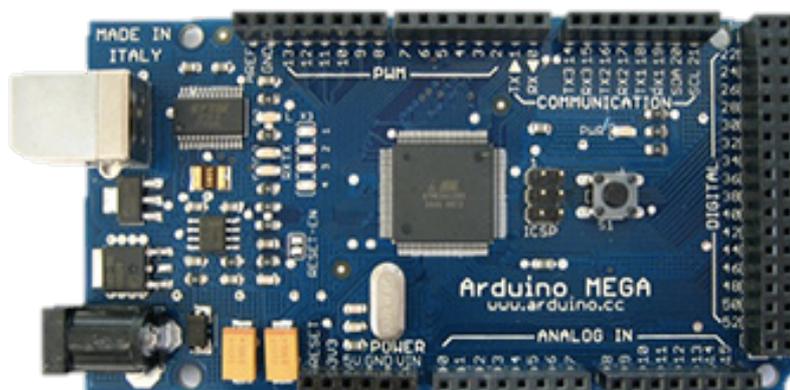
Serão coletadas informações da temperatura do ambiente interno dos protótipos e da temperatura do ambiente externo. Para coletar os dados da temperatura do ambiente interno dos protótipos são utilizados 6 sensores de temperatura e umidade do tipo DHT03 (Figura 33), dentro de cada um dos protótipo analisados, conectados a um Arduino Mega (Figura 34). Os sensores estão dispostos da seguinte forma: um sensor em cada uma das fachadas internamente, um sensor no teto do protótipo e um sensor geral interno. A sua programação foi desenvolvida com linguagem C/C++, e os dados armazenados em um cartão de memória SD. Os dados são transferidos em formato de planilha eletrônica.

Figura 33 – Sensores de temperatura e umidade DHT03



Fonte: Hobby Electronics, 2017.

Figura 34 – Arduino Mega



Fonte: ARDUINO, 2017.

Na coleta dos dados referentes à temperatura ambiente do local, utiliza-se a estação meteorológica modelo Instrutemp ITWH-1080, previamente instalada próxima aos protótipos. A Figura 35 mostra a estação meteorológica cujos dados são exibidos no painel digital.

Figura 35 – Estação meteorológica modelo Instrutemp ITWH-1080 e painel digital



Fonte: da Autora, 2017.

Além disso, utiliza-se dados da radiação solar horizontal disponibilizados pelo Núcleo de Informações Hidrometeorológicas (NIH) da Univates. O NIH possui uma estação meteorológica automática, instalada no Campus de Lajeado, que coleta informações de temperatura, precipitação, velocidade do vento, radiação ultravioleta, entre outras variáveis (UNIVATES, 2017).

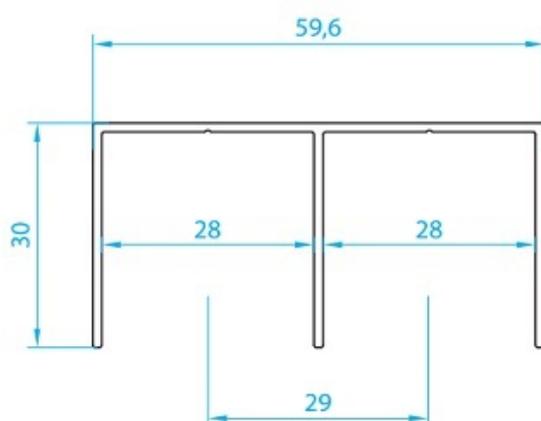
3.3 Definição dos Materiais Utilizados no Sistema de Fachada Ventilada

Primeiramente foram definidos os materiais que seriam utilizados na fabricação e fixação do sistema, tendo em vista a vasta quantidade de possibilidades de elementos diferentes que são utilizados em sistemas de fachadas ventiladas. Considerando o alto custo dos materiais já disponíveis no mercado para o uso em fachadas ventiladas, buscou-se alternativas aos materiais já existentes.

3.3.1 Grampos

Para os grampos metálicos necessários para a fixação do sistema, a alternativa encontrada foram os perfis de alumínio no formato de duplo U, levando em consideração o baixo custo desse material e sua alta resistência à exposição às condições do meio ambiente. Como as placas devem ser encaixadas dentro desse perfil, buscou-se na região o que tivesse a maior dimensão interna. Foi encontrado então o perfil DES-844, com 28 milímetros interno, como mostra a Figura 36.

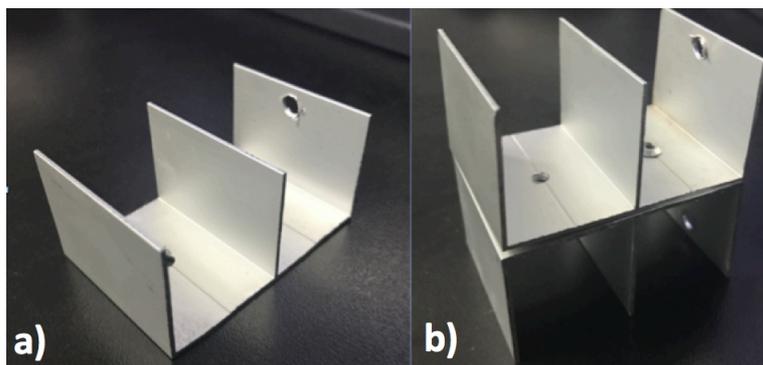
Figura 36 – Perfil DES-844



Fonte: Technobord (2017).

Encontrou-se perfis de 6 metros de comprimento, que foram cortados em pedaços de 5 centímetros, o que é o suficiente para o suporte da placa. Dessa forma, grampos para a fixação do sistema foram elaborados com pedaços do perfil de alumínio DES-844 com 5 centímetros de comprimento e furos para ser possível sua fixação nas paredes do protótipo e entre um grampo e outro. Cada placa foi fixada nos seus quatro cantos, para impedir seu deslocamento. Os grampos simples utilizados na fixação, necessários para a primeira e última fileira, assim como os grampos duplos, necessários para as camadas intermediárias da fachada são apresentados na Figura 37.

Figura 37 – Grampos simples e duplos utilizados



Fonte: da Autora, 2017.

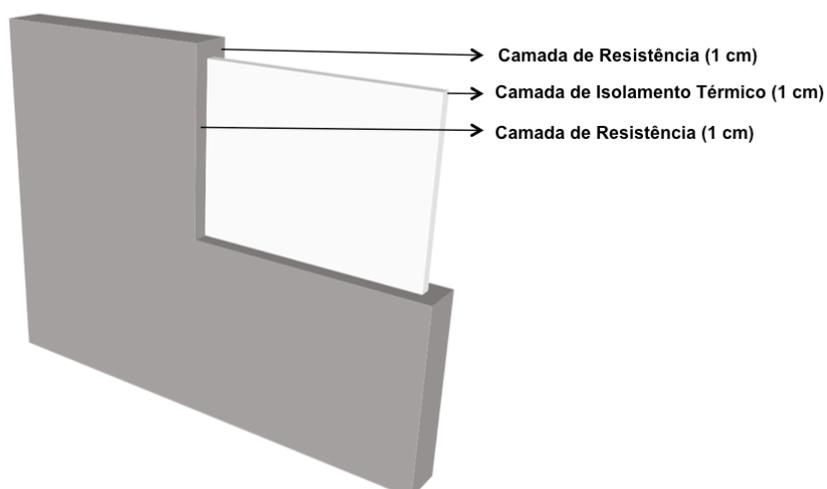
a) Grampos simples; b) Grampos duplos.

3.3.2 Placas

Estabeleceu-se que as placas seriam moldadas em camadas, uma camada resistente, uma camada de isolamento térmico e mais uma camada resistente. As camadas resistentes são necessárias pois as placas ficam expostas às intempéries.

Tendo os grampos de fixação como restringentes da espessura das placas, determinou-se que cada camada teria a espessura de 1 centímetro. Sendo assim, a Figura 38 apresenta um modelo das placas, desenvolvido no *software SketchUp*.

Figura 38 – Modelo da placa desenvolvido no *SketchUp*



Fonte: da Autora, 2017.

3.3.2.1 Camada de Resistência

Para as camadas de resistência definiu-se que seria utilizado ou concreto ou argamassa, tendo em vista a maleabilidade desses materiais, seu baixo custo e sua fácil produção. Para a especificação do material e do traço a ser utilizado na produção das placas, foram elaborados quatro traços diferentes, dois de argamassa e dois de concreto. Em ambos os traços o cimento utilizado foi o CPV ARI, por causa do seu alto desempenho e desforma rápida, com resistências inicial e final elevadas.

Foram moldados quatro corpos de prova de cada traço, conforme a NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2016), e então, testes de resistência à compressão com estes corpos de prova foram realizados, de acordo com a NBR 5739 Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (ABNT, 2007), em 7, 14, 21 e 28 dias. O Quadro 8 apresenta a composição dos quatro traços moldados e o Quadro 9 apresenta um resumo dos resultados dos testes de resistência à compressão, disponíveis no Anexo A, B, C e D.

Quadro 8 – Composição dos traços

Identificação	Areia (kg)	Cimento (kg)	Brita (kg)	Água (ml)	Aditivo
1	2	1	2	550	Não
2	3	1	0	500	Não
3	2	1	0	500	Não
4	2	1	2	550	Sim

Fonte: da Autora, 2017.

Quadro 9 – Resumo dos resultados dos testes de resistência à compressão

Identificação	7 dias (MPa)	14 dias (MPa)	21 dias (MPa)	28 dias (MPa)
1	18,86	27,71	25,29	25,81
2	11,31	10,23	11,91	17,56
3	27,79	32,71	32,93	38,15
4	21,53	26,41	30,64	34,18

Fonte: da Autora, 2017.

Analisando os resultados dos testes à compressão do Quadro 9, concluiu-se que o melhor traço, devido à resistência, é a argamassa de traço 3. Além da sua

resistência elevada, outra vantagem é que por ser uma argamassa sua condutividade térmica é menor, conforme mostrado no Quadro 5, o que melhora o desempenho térmico do sistema. Dessa forma, foi escolhido esse traço para a elaboração de todas as placas necessárias para este trabalho.

3.3.2.2 Camada de Isolamento Térmico

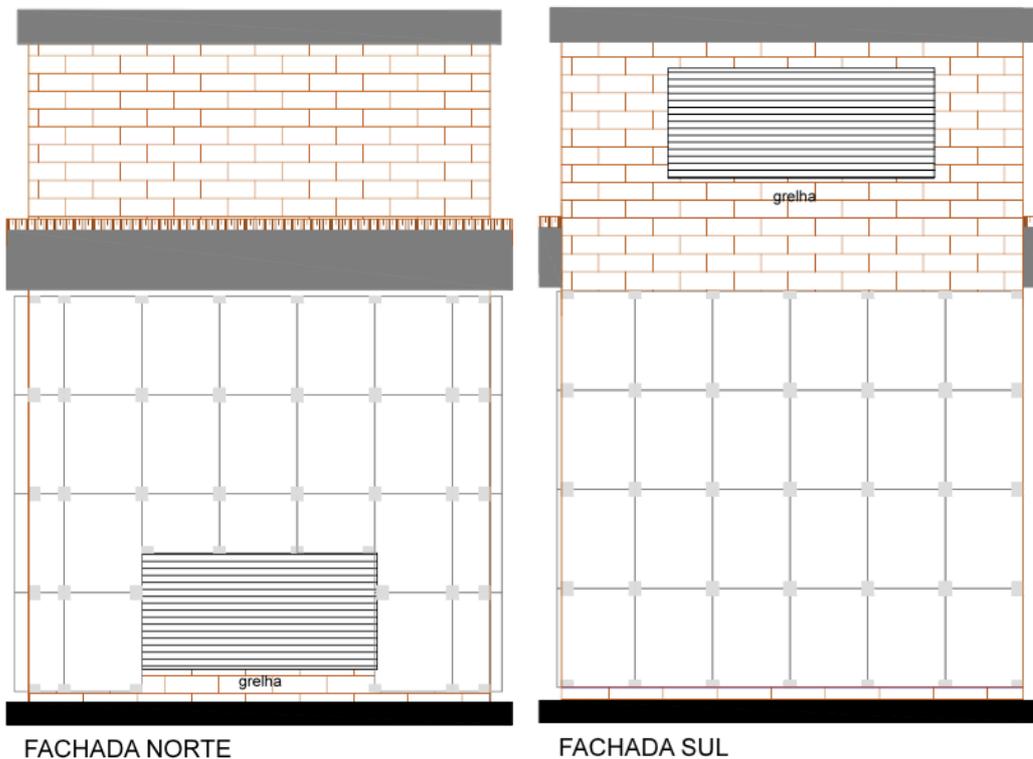
Foi adotado o Poliestireno Expandido (EPS) como material isolante térmico, que será parte constituinte das placas. Sua escolha se deve principalmente a suas propriedades térmicas, grande oferta, diversidade de dimensões, facilidade na aplicação e economia.

Segundo a Associação de Poliestireno Expandido (ABRAPEX, 2006) esse material pode ser considerado sustentável, pois sua composição final é de esferas de poliestireno e 98% de ar, podendo retornar a matéria prima a qualquer momento. Além disso, na sua fabricação não há a presença de gases do tipo CFC, um dos gases causadores da redução da camada de ozônio, o que contribui para a sua classificação como material sustentável.

3.4 Execução do Sistema

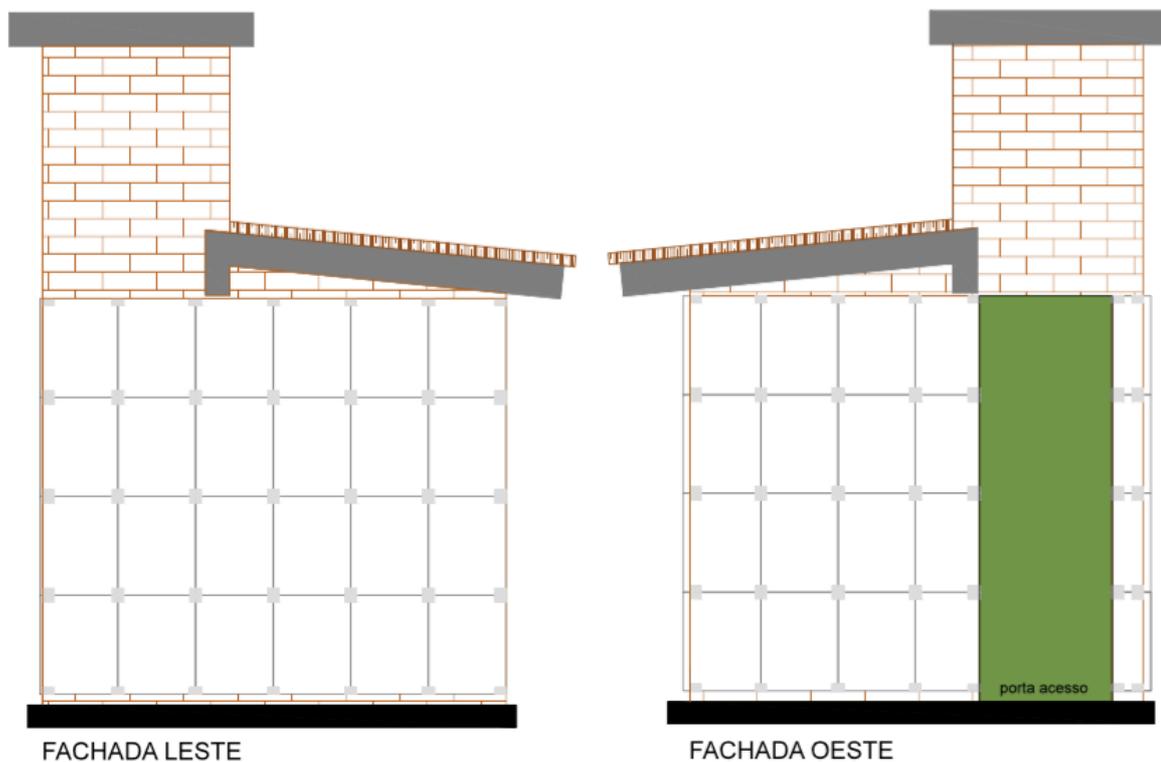
Dispondo da definição dos materiais a serem utilizados, foi elaborado um projeto de paginação para a distribuição das placas nas fachadas do protótipo utilizado. O projeto foi montado levando em consideração o peso que uma placa teria. Dessa forma, analisando as dimensões das fachadas e dos grampos a serem utilizados, estabeleceu-se que a placa padrão seria de 35 centímetros de largura por 45 centímetros de comprimento por 3 centímetros de espessura. Foi feito então um levantamento quantitativo do número de placas necessárias, assim como o número de grampos para sua fixação. As Figuras 39 e 40 apresentam a paginação das fachadas. O Quadro 10 apresenta as quantificações das placas e o Quadro 11 apresenta as quantificações de grampos.

Figura 39 – Paginação da fachada norte e sul



Fonte: da Autora, 2017.

Figura 40 – Paginação da fachada leste e oeste



Fonte: da Autora, 2017.

Quadro 10 – Quantificação das placas

Tamanhos - Largura X Altura (cm)	TOTAL
35 X 45	74
22 X 45	8
35 X 27	3
29 X 45	4
17,5 X 45	4
Total	93

Fonte: da Autora, 2017.

Quadro 11 – Quantificação dos grampos

	TOTAL
Grampo Simples	60
Grampo Duplo	85
Total	230
Comprimento Total (m)	230 grampos x 0,05 metros = 11,5 metros

Fonte: da Autora, 2017.

Para a moldagem das placas foram confeccionadas 10 formas em compensado naval de 14 milímetros de espessura. Foi escolhido o compensado naval por ser impermeável à água, de fácil desforma e ser possível sua reutilização. O início da moldagem das placas se deu no dia 22 de junho de 2017 e foram finalizadas as 93 placas no dia 19 de julho de 2017. Dentro do período citado foram feitos 9 moldagens, devido à limitação do número de formas e o tempo necessário para a desforma das placas.

Após ser desformada, cada placa permaneceu pelo menos 28 dias em cura úmida, para evitar a formação de fissuras e garantir sua resistência. O início da fixação das placas foi no dia 23 de agosto de 2017 e foi finalizado no dia 28 de agosto de 2017, sendo necessários 4 turnos para realizar toda fixação do sistema. A fim de demonstrar o desenvolvimento da execução foi feito um relatório fotográfico apresentando cada etapa de execução do sistema.

3.4.1 Confeção das Placas

Todas as placas foram confeccionadas no LATEC, sendo que cada placa confeccionada seguiu o mesmo procedimento descrito a seguir. Foram confeccionadas dez placas por vez.

Antes do início da confecção das placas, as placas de EPS necessárias para os núcleos isolantes térmicos de dez placas eram cortadas nas dimensões necessárias. No caso da placa padrão foi estabelecido em 32 cm de largura e 42cm de comprimento, havendo uma folga entre as bordas da placa de 1,5 centímetros de cada lado. Por fim, estas placas de EPS eram envoltas em uma tela *stuck* para uma melhor incorporação da mesma com a argamassa e maior resistência da placa, conforme mostra a Figura 41.

Figura 41 – Placa de EPS com tela *stuck*



Fonte: da Autora, 2017.

Tendo os núcleos de EPS prontos, o primeiro passo é a limpeza da forma e aplicação do desmoldante na mesma. A Figura 42 apresenta duas formas de compensado naval, a do lado esquerdo sem desmoldante e a do lado direito com desmoldante.

Figura 42 – Forma sem desmoldante e com desmoldante



Fonte: da Autora, 2017.

Os materiais necessários para a confecção de dez placas eram separados. Por exemplo, para a confecção de dez placas padrão (35 cm x 45 cm x 3 cm) eram pesados 50 quilogramas de areia, 25 quilogramas de CPV-ARI e medidos 12,5 litros de água. Após separados os materiais, com o auxílio da betoneira, realizava-se o traço, conforme apresentado na Figura 43.

Figura 43 – Traço sendo feito na betoneira

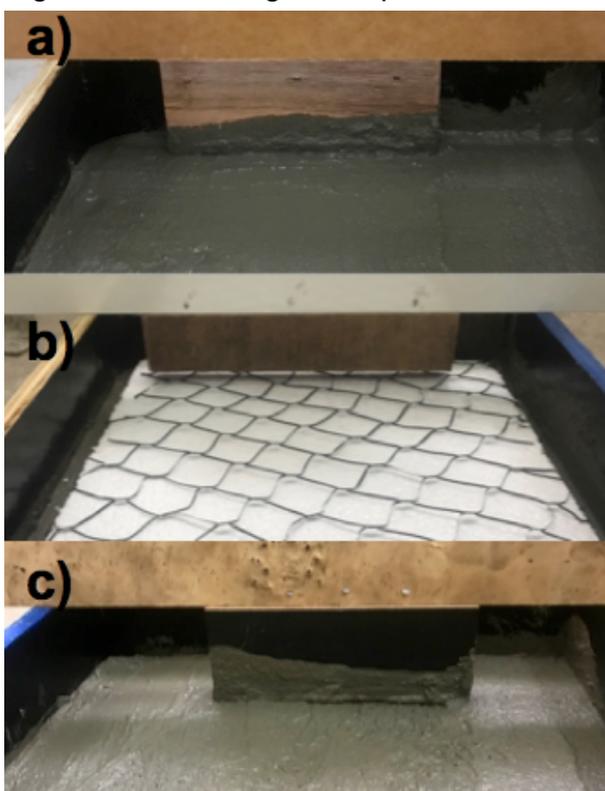


Fonte: da Autora, 2017.

Com a argamassa pronta, começa a moldagem das placas. Com o auxílio de um guia confeccionado e colher de pedreiro, eram moldadas camadas de 1 centímetro de espessura de argamassa. Então, posiciona-se o núcleo isolante térmico de EPS de 1 centímetro de espessura no centro da placa. Por fim, mais uma

camada de 1 centímetro de espessura de argamassa era moldada com o auxílio da guia e da colher de pedreiro. Por último, com o uso de uma desempenadeira lisa era realizado o acabamento da placa. A Figura 44 mostra todo o desenvolvimento das camadas que compõe a placa e a Figura 45 mostra dez placas prontas.

Figura 44 – Moldagem da placa



Fonte: da Autora, 2017.

a) Primeira camada de argamassa sendo moldada; b) Posicionamento do EPS no centro da placa;
c) Última camada de argamassa sendo moldada.

Figura 45 – 10 placas prontas



Fonte: da Autora, 2017.

As placas precisavam de pelo menos dois dias para serem desformadas, e logo após eram colocadas na cura úmida. Elas permaneceram na cura úmida, como mostra a Figura 46, até o dia da fixação no protótipo.

Figura 46 – Placas na cura úmida



Fonte: da Autora, 2017.

3.4.2 Fixação do Sistema

Todos os grampos foram fixados com bucha e parafuso 7 milímetros. A fixação do sistema de fachada ventilada se deu no sentido de baixo para cima, placa a placa. A Figura 47 mostra um grampo sendo fixado.

Figura 47 – Grampo sendo fixado



Fonte: da Autora, 2017.

3.5 Situações Avaliadas

Foram avaliadas três situações diferentes de desempenho térmico do sistema de fachada ventilada: protótipo com ventilação natural e fachada ventilada na cor natural, protótipo vedado e fachada ventilada na cor natural e protótipo vedado e fechada ventilada na cor branca. A seguir, mais detalhes de cada situação são apresentados.

3.5.1 Protótipo com Ventilação Natural e Fachada Ventilada na Cor Natural

A primeira avaliação foi do sistema de fachada ventilada com as placas na cor natural, com a ventilação do protótipo através da entrada de ar na fachada norte. Os dados coletados desta avaliação foram entre o dia 4 de setembro de 2017 ao dia 16 de outubro de 2017. A Figura 48 apresenta o protótipo 2 com a fachada ventilada instalada na cor natural das placas.

Figura 48 – Protótipo 2 com a fachada ventilada instalada



Fonte: da Autora, 2017.

3.5.2 Protótipo Vedado e Fachada Ventilada na Cor Natural

A segunda avaliação feita foi com o sistema de fachada ventilada na sua cor natural, mas sem ventilação natural dentro do protótipo, pois a entrada de ar por onde o ar circulava foi vedada com uma chapa de Madeirit, como mostra a Figura 49. Levando em consideração que durante o dia 17 de outubro de 2017 foi feita a instalação da vedação, e que para isto entrou-se no protótipo, criando uma renovação de ar mais rápida do ambiente, este dia não será levado em consideração para questões de avaliação de desempenho térmico. Dessa forma, os dados desta segunda avaliação foram coletados entre o dia 18 de outubro de 2017 e 6 de novembro de 2017.

Figura 49 – Chapa de Madeirit instalada na entrada de ar



Fonte: da Autora, 2017.

3.5.3 Protótipo Vedado e Fachada Ventilada Pintada de Branco

A última situação avaliada neste trabalho foi com as placas do sistema de fachada ventilada pintadas na cor branca, tendo em vista seu baixo índice de absorvidade e alto índice de emissividade. A coleta de dados desta situação ocorreu entre os dias 7 e 14 de novembro de 2017. Com o auxílio de rolos para pintura, foi primeiro passada uma demão do fundo preparador à base água nas fachadas, e então foram passadas duas demãos de tinta acrílica branca. Os materiais utilizados são mostrados na figura 50. A Figura 51 apresenta a fachada norte do protótipo 2 com a pintura finalizada.

Figura 50 – Fundo preparador à base da água



Fonte: da Autora, 2017.

a) Fundo preparador à base da água; b) Tinta acrílica branca.

Figura 51 – Fachada norte pintada



Fonte: da Autora, 2017.

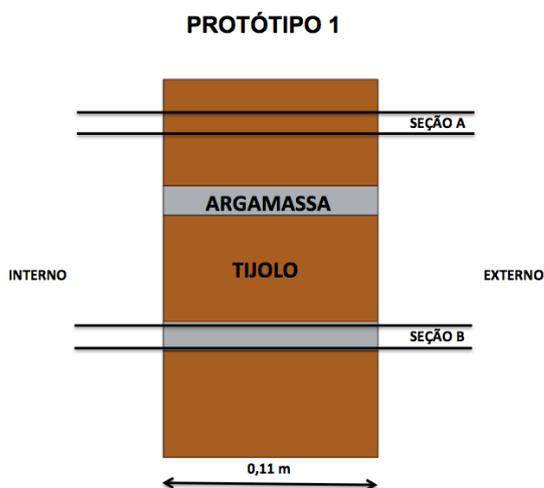
3.6 Avaliação do Desempenho Térmico

Além da elaboração e construção da fachada ventilada propõem-se realizar os cálculos para avaliação do desempenho térmico do sistema de paredes de vedação, que no caso do protótipo 2 inclui o sistema de fachada ventilada. Utilizam-se os métodos de cálculo expostos no capítulo 2.8 deste trabalho, com a utilização da NBR 15220 (ABNT, 2005). Os cálculos são realizados através de planilha eletrônica criada no *software Microsoft Excel* e se encontram no Anexo E deste trabalho. A seguir, são explicados detalhadamente os procedimentos de cálculo.

3.6.1 Seções Analisadas

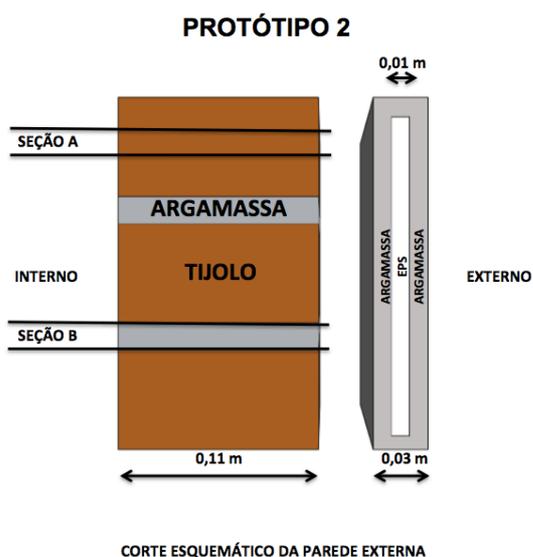
O desenho do corte das seções analisadas do protótipo 1 e do protótipo 2 aparecem na Figura 52 e 53, respectivamente. Ambos foram elaborados através do *software SketchUp*.

Figura 52 – Corte da parede do protótipo 1



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Figura 53 – Corte da parede do protótipo 2



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

3.6.2 Resistência Térmica das Paredes de Vedação

Calcula-se a resistência térmica das paredes de vedação (R_t paredes), presentes no protótipos 1 e 2. Utiliza-se a equação 1, apresentada no capítulo 2.9 deste trabalho. As dimensões dos materiais das paredes encontram-se no Quadro 12 e no Quadro 13 encontra-se os resultados do fluxo de calor horizontal.

Quadro 12 – Dimensões dos materiais constituintes das paredes de vedação

	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)
Tijolo cerâmico maciço	0,19	0,11	0,055
Argamassa - Junta horizontal	0,19	0,015	
Argamassa - Junta vertical		0,015	0,07

Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Quadro 13 – Resultados do fluxo de calor horizontal

	Tijolo	Argamassa
Espessura (m)	0,11	0,11
Condutividade térmica (W/m.K)	0,9	1,15
Resistência Térmica (m ² .K/W)	0,1222	0,0957
Área de troca térmica (m ²)	0,0105	0,0039

Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Para calcular a resistência térmica do elemento, segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), utiliza-se a equação 4.

$$Rt_{paredes} = \frac{Aa+Ab}{\frac{Aa}{Ra} + \frac{Ab}{Rb}} \quad (4)$$

Onde:

Rt = resistência do elementos;

Aa = área da seção A exposta ao fluxo de calor;

Ab = área da seção B exposta ao fluxo de calor;

Ra = resistência térmica do material da seção A;

Rb = resistência térmica do material da seção B.

Foi adotado como seção A o tijolo cerâmico maciço, e como seção B a argamassa. Desta forma:

$$Aa = 0,0105 \text{ m}^2;$$

$$Ab = 0,0039 \text{ m}^2;$$

$$Ra = 0,1222 \text{ m}^2.\text{K/W};$$

$$Rb = 0,0957 \text{ m}^2.\text{K/W}.$$

Utilizando a equação 4, a resistência térmica da parede:

$$Rt_{paredes} = 0,1136 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

3.6.3 Resistência Térmica das Placas da Fachada Ventilada

Calcula-se então a resistência térmica das placas da fachada ventilada (R_t placas), que estão presentes no protótipo 2. Utiliza-se os mesmos cálculos da resistência térmica das paredes de vedação. No Quadro 14 encontra-se os resultados do fluxo de calor horizontal.

Quadro 14 – Resultados do fluxo de calor horizontal

	Argamassa	EPS
Espessura (m)	0,02	0,01
Condutividade térmica (W/m.K)	1,15	0,04
Resistência Térmica (m ² .K/W)	0,0174	0,2500
Área de troca térmica (m ²)	Total	Total

Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

A resistência térmica das placas da fachada (R_t placas) é a soma da resistência térmica da Argamassa e do EPS, sendo igual a 0,267 m².K/W.

3.6.4 Resistência Térmica Total do Protótipo 1

Para calcular a resistência térmica total (RT) do protótipo 1 soma-se a resistência térmica das paredes de vedação (R_t paredes) à resistência térmica superficial do ar externa (R_{se}), e interna (R_{si}), determinadas pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005) conforme o Quadro 4 anteriormente apresentado.

Onde:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Sendo assim:

$$RT = R_{si} + R_t \text{ paredes} + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,1136 + 0,04$$

$$RT = 0,284 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

3.6.5 Transmitância Térmica do Protótipo 1

Para o cálculo da transmitância térmica (U) do protótipo 1 utiliza-se a equação 2. Desta forma:

$$U = 3,53 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

3.6.6 Resistência Térmica Total do Protótipo 2

Para o cálculo da resistência térmica total (RT) do protótipo 2, considerando a presença de uma câmara de ar muito ventilada ($S/L = 600$), deve-se considerar duas situações segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005): verão e inverno. Como a intenção deste estudo é de desenvolver um sistema de fachada ventilada para problemas de aquecimento das edificações, serão feitos os cálculos somente para a situação de verão.

No período do verão a resistência térmica total (RT verão) é considerada como:

$$RT \text{ verão} = R_{si} + R_t \text{ paredes} + R_t \text{ placas} + R_t \text{ câmara de ar} + R_{se}$$

Onde:

R_t câmara de ar = $0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (Quadro 3).

$$RT \text{ verão} = 0,13 + 0,1136 + 0,2674 + 0,16 + 0,04$$

$$RT \text{ verão} = 0,711 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

3.6.7 Transmitância Térmica do Protótipo 2

Para o cálculo da transmitância térmica (U) do verão, utiliza-se a equação 2.

$$U = 1,41 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

3.6.8 Capacidade Térmica das Paredes de Vedação

Para o cálculo da capacidade térmica das paredes de vedação (C_T paredes) utiliza-se a equação 3 e os dados do Quadro 5. As propriedades necessárias para o cálculo e os resultados são mostrados no Quadro 15.

Quadro 15 – Cálculo da capacidade térmica das paredes de vedação

Propriedades	Tijolo	Argamassa
Espessura (m)	0,11	0,11
Calor Específico (kJ/kg.K)	0,92	1
Densidade de Massa Aparente (kg/m ³)	1450	1950
Capacidade Térmica (kJ/(m ² .K))	146,74	214,50

Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Foi adotado como seção A o tijolo cerâmico maciço, e como seção B a argamassa. Desta forma:

$$A_a = 0,0105 \text{ m}^2;$$

$$A_b = 0,0039 \text{ m}^2;$$

$$C_{Ta} = 146,74 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)};$$

$$C_{Tb} = 214,50 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}.$$

Utiliza-se a equação 5 para o cálculo da capacidade térmica das paredes de vedação:

$$C_T \text{ paredes} = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}}} \quad (5)$$

$$C_T \text{ paredes} = 160,52 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$$

A capacidade térmica das paredes de vedação corresponde a capacidade térmica das fachadas do protótipo 1.

3.6.9 Capacidade Térmica das Placas da Fachada Ventilada

Para o cálculo da capacidade térmica das placas utilizadas na fachada ventilada (C_T placas) utiliza-se a equação 3 e os dados do Quadro 5. As

propriedades necessárias para o cálculo e os resultados são mostradas no Quadro 16.

Quadro 16 – Cálculo da capacidade térmica das placas da fachada ventilada

Propriedades	Argamassa	EPS
Espessura (m)	0,02	0,01
Calor Específico (kJ/kg.K)	1	1,42
Densidade de Massa Aparente (kg/m ³)	1950	25
Capacidade Térmica (kJ/(m ² .K))	39	0,35

Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

A capacidade térmica das placas da fachada ventilada é a soma da capacidade térmica da argamassa e do EPS, sendo assim:

$$C_T \text{ placas} = 39,35 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Somando a capacidade térmica das placas com a capacidade térmica das paredes de vedação (C_T paredes) encontra-se a capacidade térmica das fachadas do protótipo 2, que é igual a 199,88 kJ/(m².K).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Desempenho Térmico

Os valores de transmitância térmica (U) para o protótipo 1 e 2 foram calculados previamente, e os valores encontrados são de $3,53 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para o protótipo 1 e $1,41 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para o protótipo 2. O valor encontrado de $3,53 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ é superior ao requerido pela norma, que segundo o Quadro 6 a transmitância térmica máxima em paredes externa deve ser igual ou menor a $2,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para a zona bioclimática 2, que é onde está localizada a cidade de Lajeado. Sendo assim, o protótipo 1 não apresenta um valor aceitável de transmitância térmica. Já o protótipo 2 apresenta a transmitância térmica igual a $1,41 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para a situação de verão, o que é compatível com a norma.

Quando comparados os resultados do desempenho térmico da fachada ventilada elaborada neste estudo com dados de outros estudos, verifica-se que o valor encontrado na transmitância térmica é melhor do que o encontrado por Santos Filho (2015), que foi de $1,53 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para uma fachada ventilada com placas de cerâmica de 12 mm e camada de ventilação de 10 a 15 cm. Já Cardoso (2009) encontrou o resultado de $1,64 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para uma fachada composta por placas de porcelanato de 1,5 cm e câmara de ar de 2 a 5 cm. Mostrando que a fachada elaborada neste projeto tem um desempenho melhor quando comparada a fachadas de cerâmicas.

Quando comparado com os dados de fabricantes de fachadas ventiladas, a resistência térmica da placa deste trabalho foi de $0,267 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ e a resistência

térmica fornecida pela ULMA (2017) para o concreto polímero é de $0,025 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, valor determinado através do método da placa quente guardada e pelo método do medidor de fluxo de calor. Dessa forma, graças ao EPS que compõe uma das camadas da placa deste trabalho, a resistência térmica da placa elaborada é superior quando comparada às encontradas no mercado.

Para a propriedade de capacidade de calor, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) determina que a capacidade térmica de paredes externas para a Zona 2 deve ser maior ou igual a $130,00 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, segundo o Quadro 7. Para o protótipo 1 o valor encontrado é de $160,52 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e para o protótipo 2 é de $199,88 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Dessa forma, os dois valores estão dentro na norma, no entanto o protótipo 2 apresenta uma capacidade térmica de paredes externa de aproximadamente 25,5% a mais que o protótipo 1.

Os resultados de capacidade de calor encontrados por Santos Filho (2015) foram de $150,38 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e Cardoso (2009) apresenta $161,04 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Sendo assim, a capacidade térmica do sistema proposto neste trabalho tem um desempenho superior aos de fachadas ventiladas elaborados com placas cerâmicas.

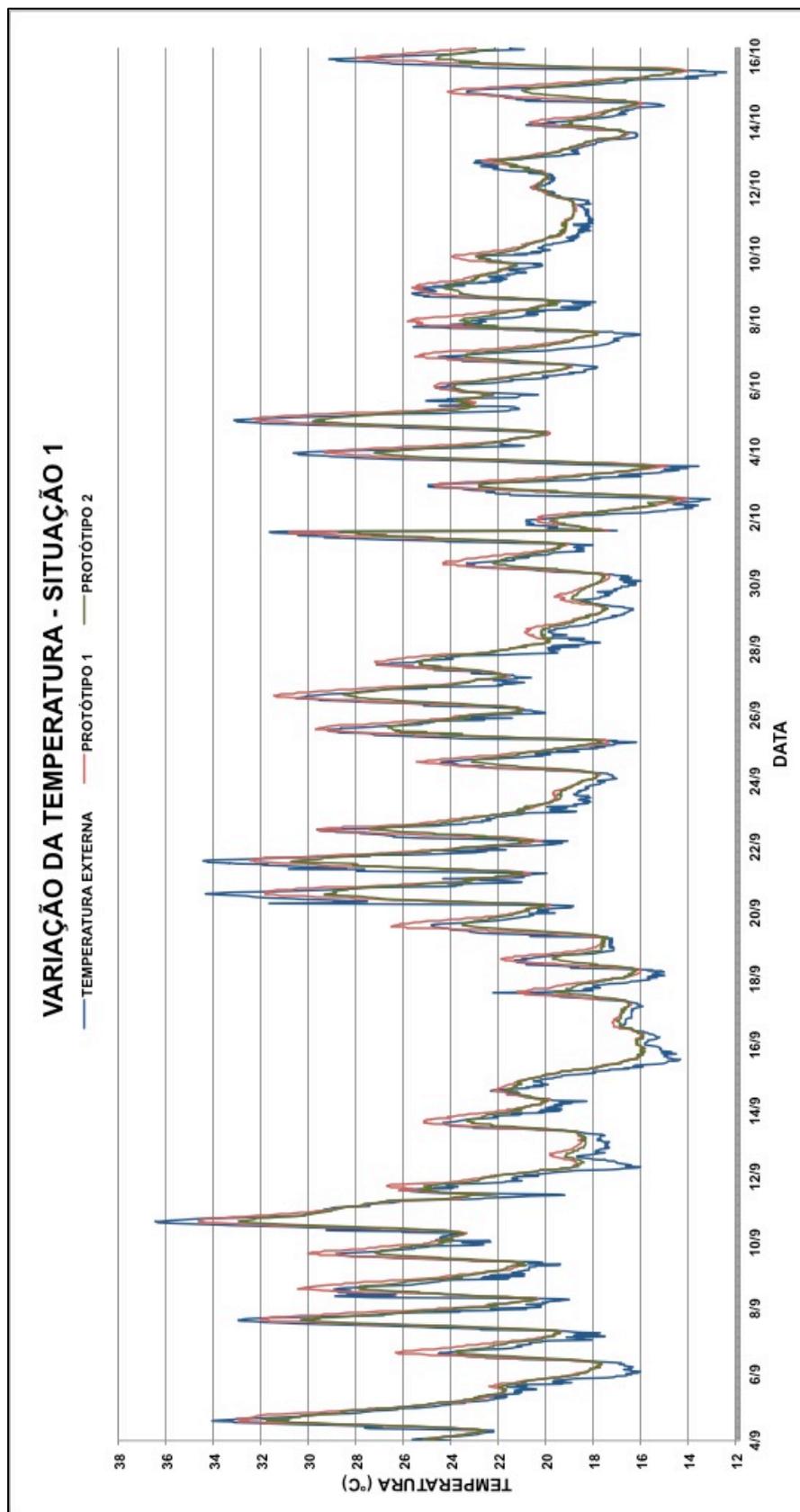
4.2 Avaliação Experimental do Sistema de Fachada Ventilada

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados encontrados para as situações 1, 2 e 3. São apresentados os dados em forma de gráfico, mostrando a variação da temperatura externa e interna ($^{\circ}\text{C}$) do protótipo 1 e 2. A temperatura externa foi medida pela estação meteorológica Instrutemp ITWH-1080 e os dados de temperatura de cada protótipo avaliados foram coletados por um sensor localizado no centro do protótipo, o sensor geral, para obtenção de resultados mais lineares.

4.2.1 Avaliação da Situação 1

A situação 1 avaliou o protótipo com ventilação interna e as placas da fachada ventilada na sua cor natural. Os dados foram coletados entre o dia 4 de setembro de 2017 a 16 de outubro de 2017, e são apresentados no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Situação 1: protótipo 2 com ventilação interna e placas da fachada na cor natural

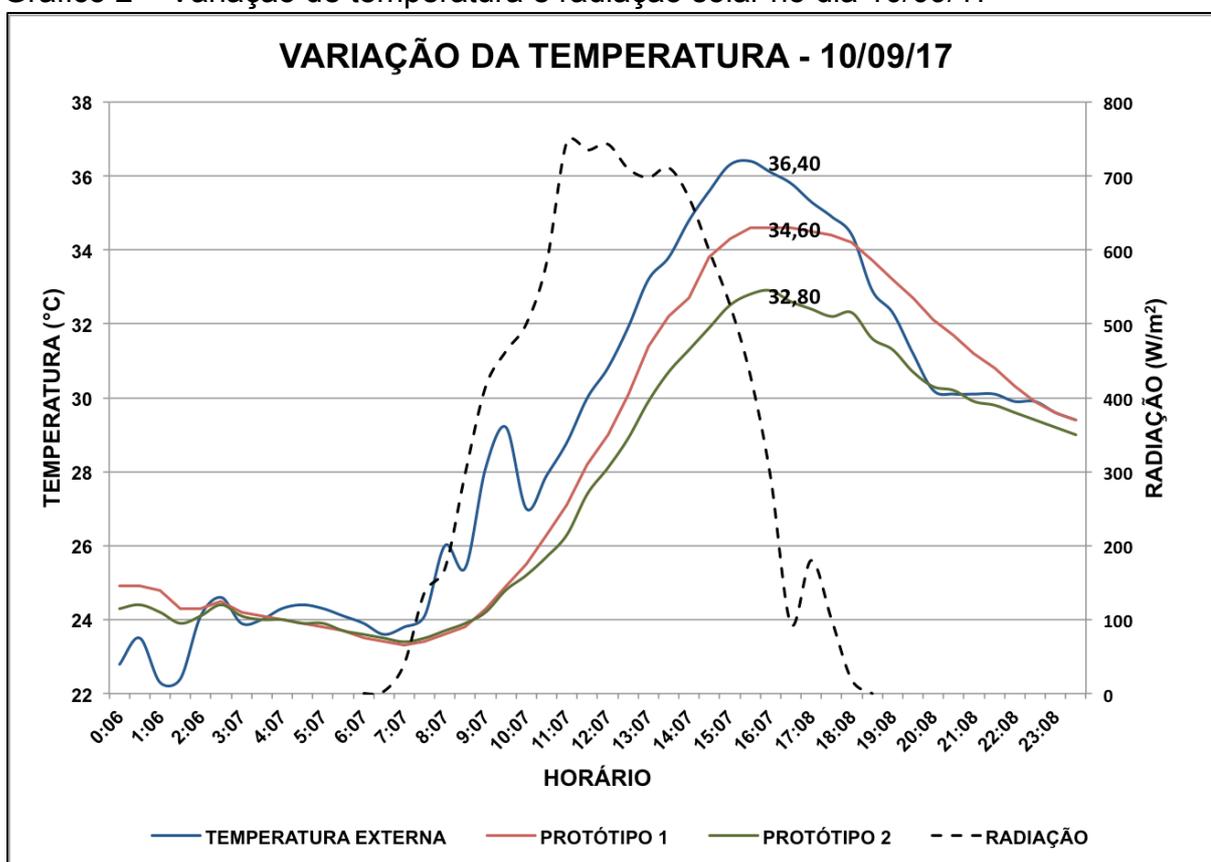


Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Analisando o Gráfico 1 nota-se que a variação de temperatura sofrida pelo protótipo 2 é menor quando comparada a variação de temperatura sofrida pelo protótipo 1 e a pela temperatura externa. Conclui-se dessa forma que a fachada ventilada ajudou o protótipo 2 no seu melhor desempenho em questão ao conforto térmico quando comparado ao protótipo 1.

Dentro desse período, a temperatura máxima externa foi de 36,4 °C no dia 10 de setembro de 2017. O Gráfico 2 apresenta a variação de temperatura e de radiação solar desse dia.

Gráfico 2 – Variação de temperatura e radiação solar no dia 10/09/17

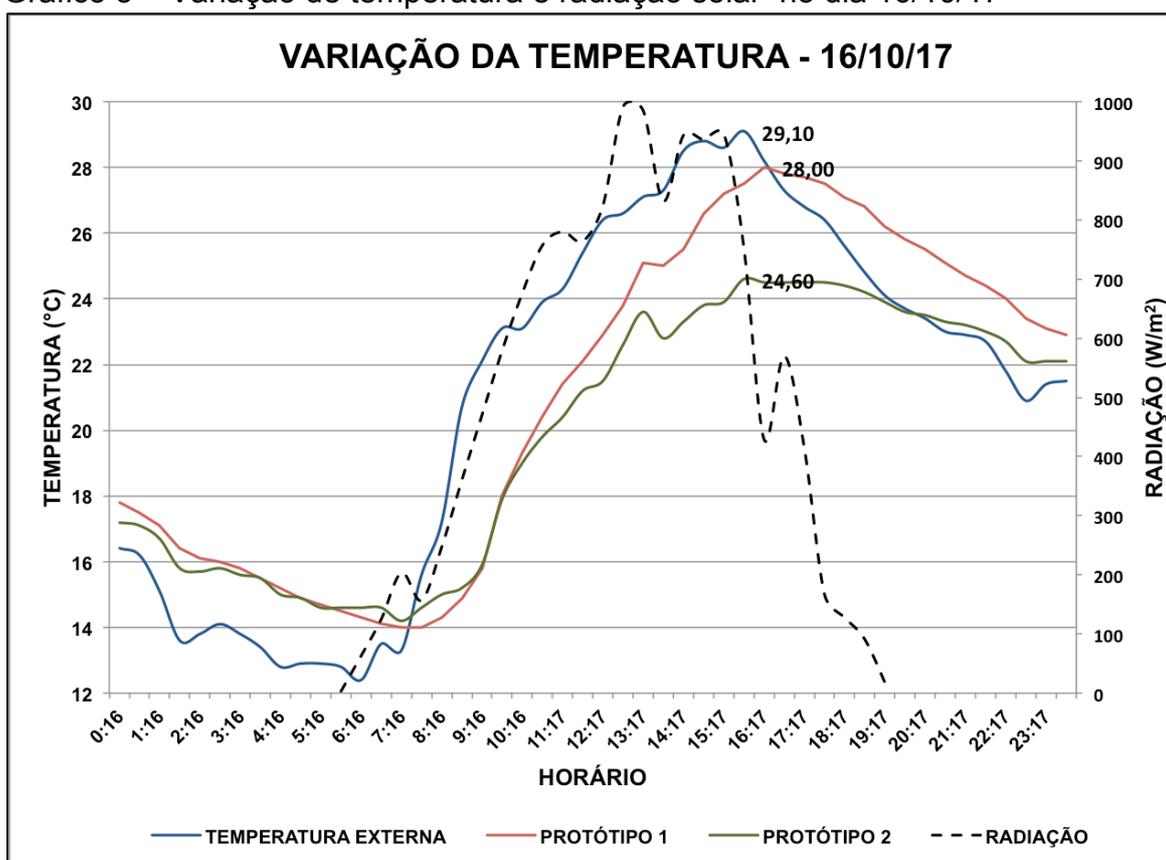


Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

O Gráfico 2 mostra que conforme a radiação solar, e portanto, a temperatura externa, vão aumentando, a diferença de temperatura entre o protótipo 1 e 2 se torna mais consistente. Ou seja, a fachada ventilada se torna mais eficaz através do aumento da radiação. Ciampi, Leccese e Tuoni (2003) expõem que a economia de energia aumenta extraordinariamente com o aumento da radiação solar, e que quanto maior a radiação solar, mais conveniente se torna a fachada ventilada, através do ponto de vista de economia de energia.

Nota-se que enquanto a radiação solar máxima do dia foi de 747 W/m^2 e a temperatura externa chegou a máxima de $36,4 \text{ }^\circ\text{C}$ às 15h37min, quando a temperatura interna do protótipo 2 era de $32,80 \text{ }^\circ\text{C}$, uma redução de $3,60 \text{ }^\circ\text{C}$. Quando a temperatura interna do protótipo 2 é comparada ao do protótipo 1, que chegou a $34,60 \text{ }^\circ\text{C}$, a redução é de $1,80 \text{ }^\circ\text{C}$. Deve-se levar em consideração que a estação vigente no dia 10 de setembro ainda é o inverno, e que desta forma a radiação solar nas fachadas é menor do que em um dia de primavera ou de verão, que são estações mais quente, e portanto, exigem um maior conforto térmico da edificação. Sendo assim, as diferenças de temperatura encontradas aumentarão com a chegada primavera, pois como explicado, o efeito chaminé da câmara de ar é acentuado com o aumento da radiação solar. O Gráfico 3 que apresenta os dados da variação de temperatura e de radiação solar do dia 16 de outubro de 2017 comprova esta afirmativa.

Gráfico 3 – Variação de temperatura e radiação solar no dia 16/10/17



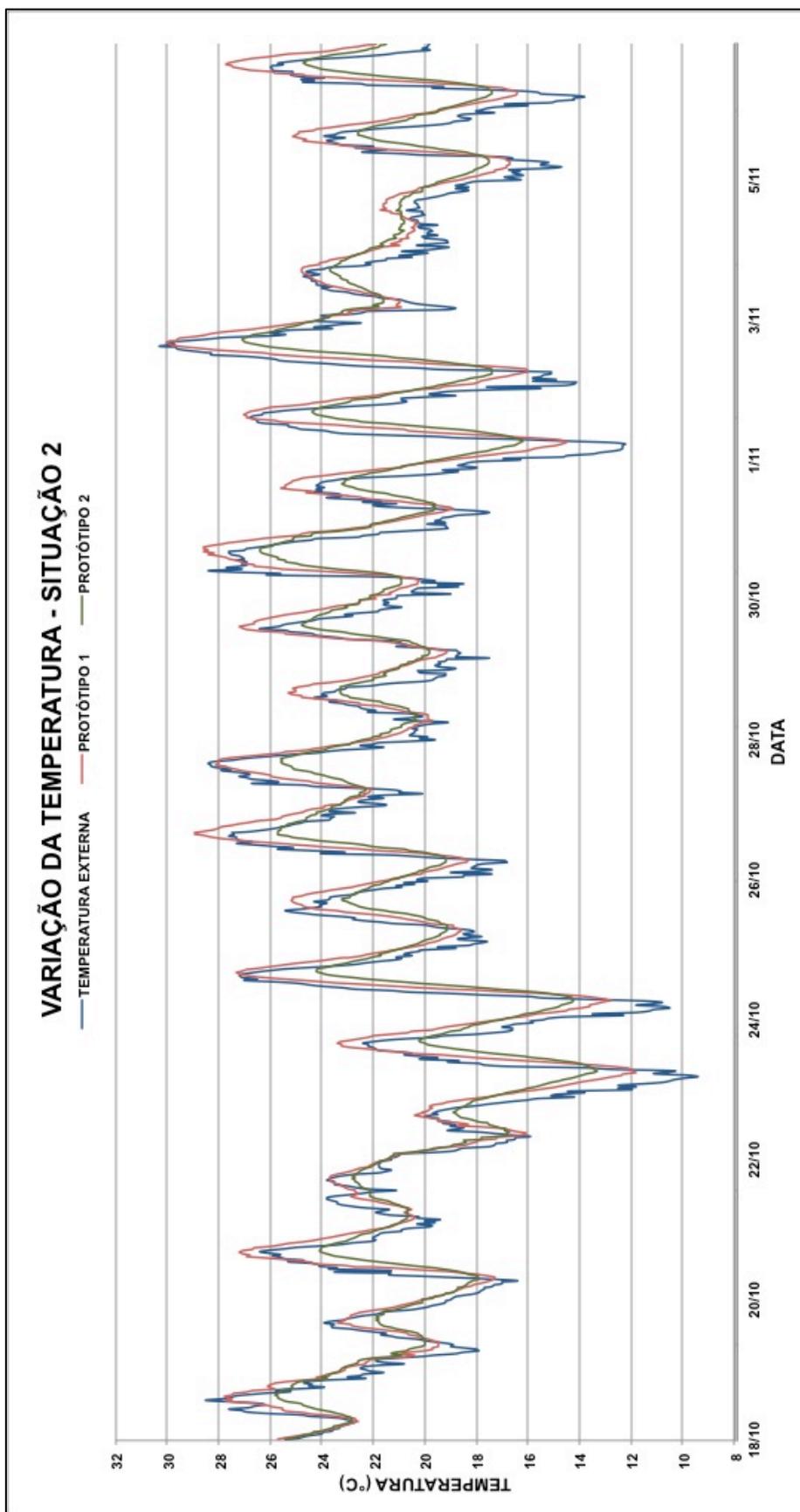
Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Nos dados do dia 16 de outubro de 2017 a radiação solar chegou a 991 W/m^2 (244 W/m^2 a mais do que no dia 02 de setembro) e temperatura externa máxima chegou a $29,10 \text{ }^\circ\text{C}$ às 15h47min. Enquanto isto, a temperatura do protótipo 2 foi de $24,60 \text{ }^\circ\text{C}$ para o mesmo horário, uma redução de $4,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Comparando os dados de temperatura do protótipo 1 para o 2, a redução de temperatura foi de $28,00 \text{ }^\circ\text{C}$ para $24,6 \text{ }^\circ\text{C}$, o que equivale a uma redução de $3,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Apesar das temperaturas máximas não terem sido tão elevadas quando comparadas ao dia 16 de setembro de 2017, a diferença das temperaturas foi mais positiva, comprovando que a eficiência da fachada ventilada é maior conforme aumenta a radiação solar nas fachadas.

4.2.2 Avaliação da Situação 2

O segundo comparativo realizado foi entre o protótipo 2, com a fachada ventilada na sua cor natural e a abertura para ventilação vedada, e o protótipo 1 com abertura para ventilação natural. Os dados foram coletados entre os dias 18 de outubro de 2017 e 06 de novembro de 2017 e são apresentados no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Situação 2: protótipo vedado e placas da fachada na cor natural

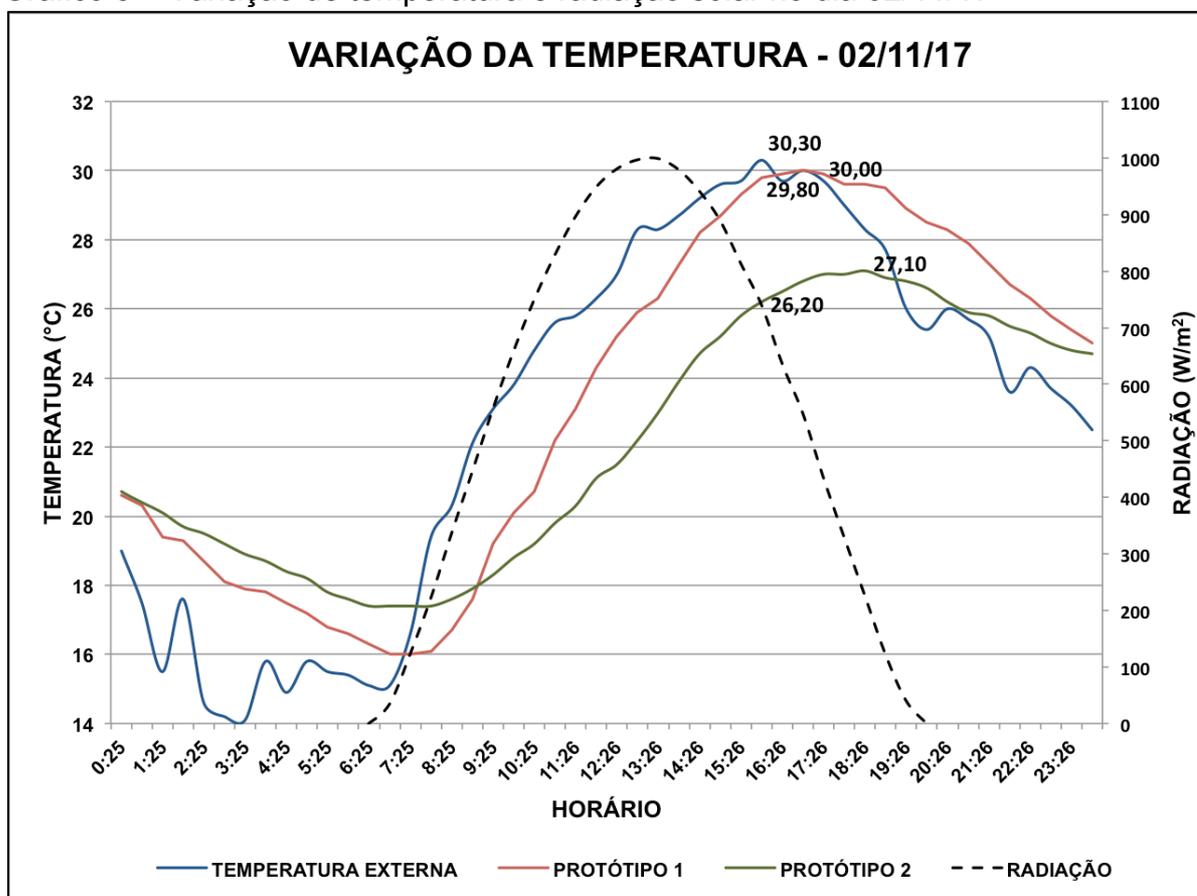


Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

No Gráfico 4 observa-se que na maioria dos dias enquanto a temperatura interna do protótipo 1 ficou muito próxima ou ultrapassou a temperatura máxima do dia nos períodos de calor, a temperatura interna do protótipo 2 manteve-se inferior à temperatura máxima externa. Este dado comprova novamente a efetividade da fachada ventilada

A temperatura máxima do período foi de 30,3 °C no dia 02 de novembro de 2017. O Gráfico 5 mostra a variação de temperatura durante este dia.

Gráfico 5 – Variação de temperatura e radiação solar no dia 02/11/17



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

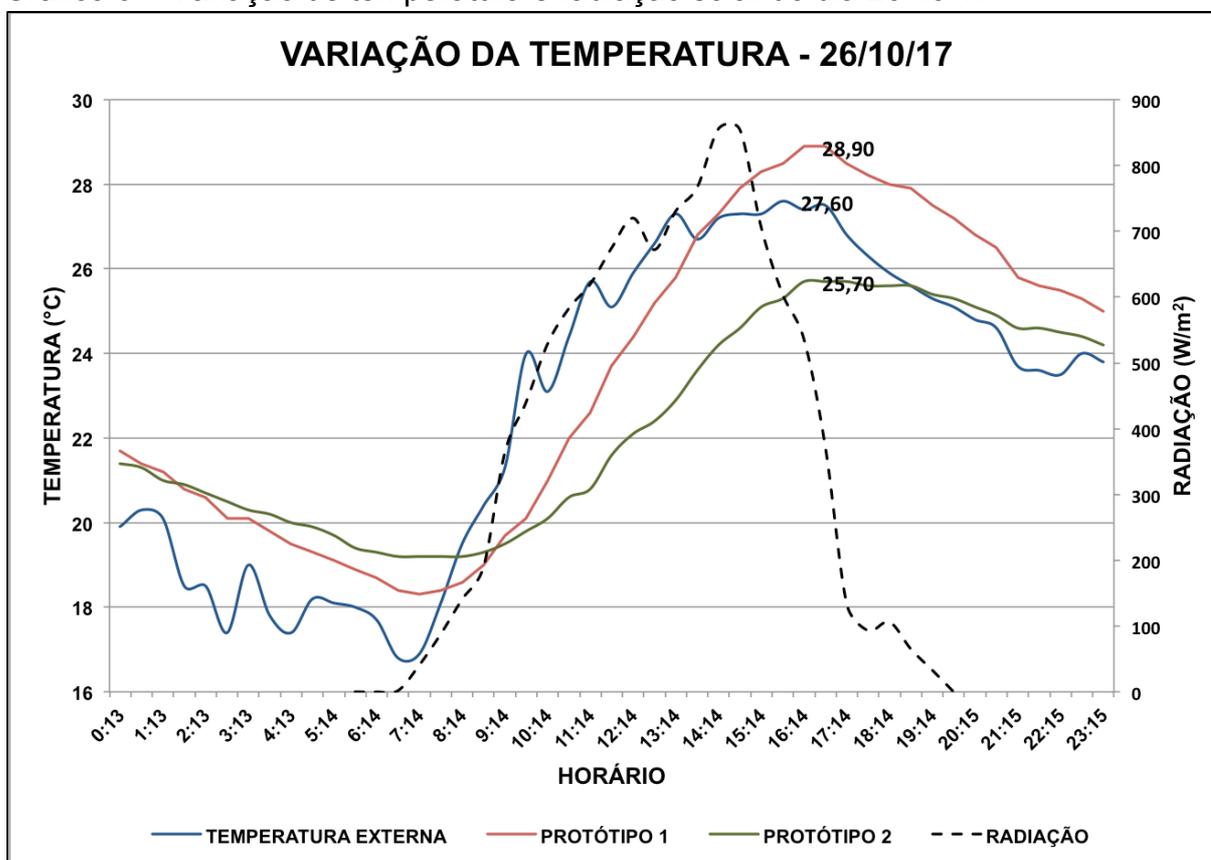
Ao analisar o período em que ocorreu a maior temperatura externa, no dia 2 de novembro, têm-se o registro de 30,30 °C por volta das 15h36min. O registro máximo de radiação solar é de 999 W/m². Enquanto isto, a temperatura interna do protótipo 2 no mesmo horário chegou a 26,20 °C, uma redução de 4,10 °C. Quando comparado o protótipo 1 com o 2 no mesmo horário, a diferença de temperatura é de 3,6 °C. Apesar disso, aproximadamente às 12h26min a diferença entre o protótipo 2 e a temperatura externa chegou a 6,1 °C. No entanto, percebe-se que o

horário do pico máximo de temperatura externa é diferente do horário do máximo da temperatura interna tanto do protótipo 1 como do protótipo 2. O atraso térmico do protótipo 1 foi de 1 hora, quando a temperatura interna do mesmo chegou a 30,00 °C, já o atraso térmico do protótipo 2 foi mais elevado, chegando a 3 horas, quando sua temperatura interna alcançou 27,1 °C.

Percebe-se também que a variação de temperatura sofrida pelo protótipo 2 após ter alcançado sua temperatura máxima do dia, é menor quando comparado com a situação em que a abertura da fachada norte estava aberta. Ou seja, a perda de calor do protótipo 2 é mais devagar quando o mesmo está vedado. Uciu et al. (2017) explica que circulando o ar da edificação durante o período da noite faz com que o calor armazenado durante o dia seja dissipado, justificando assim, a menor perda de calor do protótipo 2 no período noturno.

O Gráfico 6, com dados de temperatura e radiação solar do dia 26 de outubro, apresenta a mesma situação.

Gráfico 6 – Variação de temperatura e radiação solar do dia 26/10/17



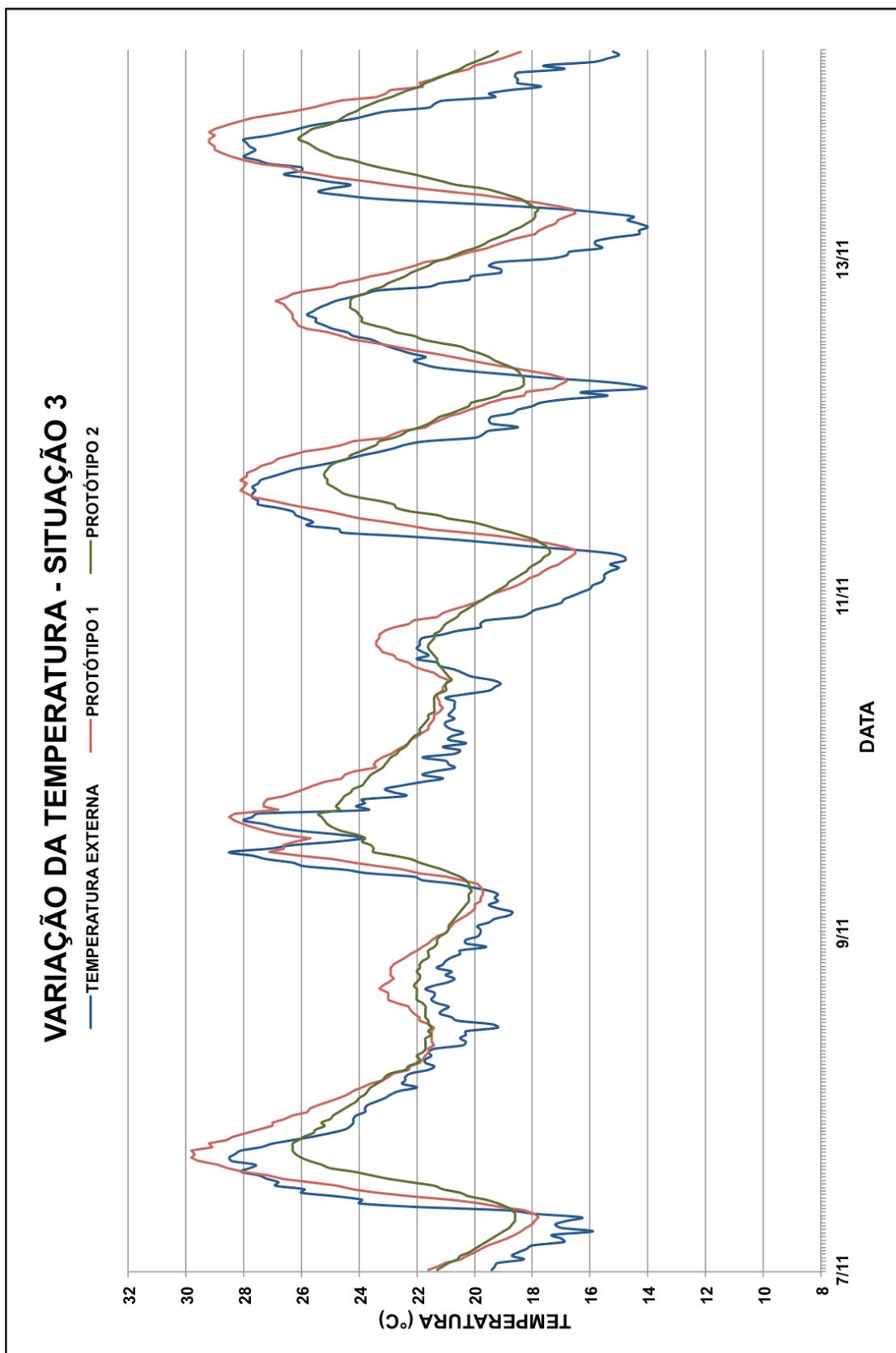
Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

No dia 26 de outubro de 2017 a temperatura máxima foi de 27,60 °C e a radiação solar máxima foi de 856 W/m². A temperatura máxima do protótipo 1 neste dia foi de 28,90, 1,3 °C a mais do que a temperatura externa. Enquanto isto, a temperatura máxima alcançada pelo protótipo 2 foi de 25,7 °C, 1,9 °C a menos que a temperatura externa e 3,2 °C a menos que o protótipo 1.

4.2.3 Avaliação da Situação 3

O último comparativo realizado foi entre o protótipo 2, com a fachada ventilada na pintada de branco e a abertura para ventilação vedada, e o protótipo 1 com abertura para ventilação natural. Os dados foram coletados entre os dias 07 de novembro de 2017 e 14 de novembro de 2017 e são apresentados no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Situação 3: protótipo vedado e placas da fachada na cor branca

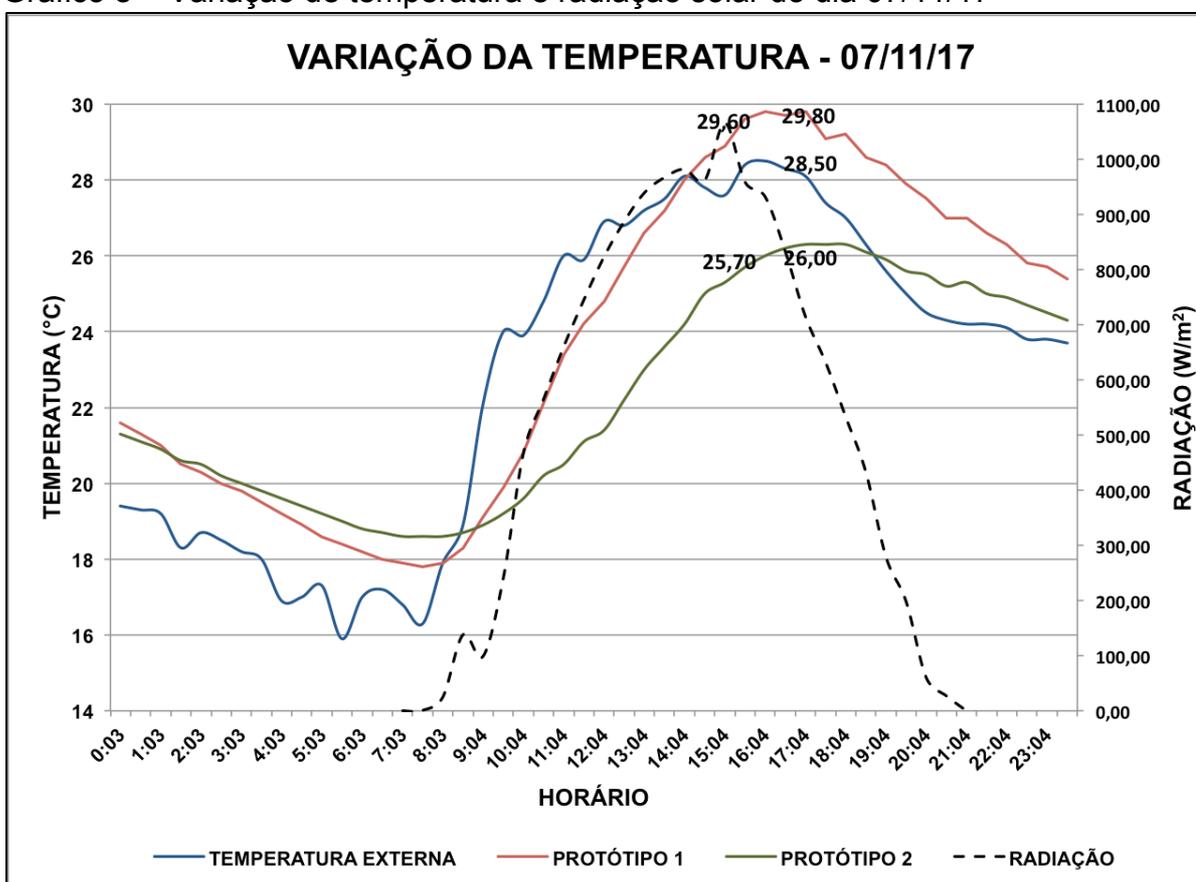


Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Esta situação novamente apresenta resultados positivos para a fachada ventilada, levando em consideração o protótipo 2 não passou em nenhum dia da temperatura máxima externa. Este resultado foi o contrário do encontrado para o protótipo sem a fachada ventilada, que superou a temperatura externa máxima todos os dias.

Dentro deste período o dia de maior temperatura externa foi no dia 7 de novembro de 2017. O Gráfico 8 apresenta os dados de variação de temperatura e radiação solar desta data.

Gráfico 8 – Variação de temperatura e radiação solar do dia 07/11/17



Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

A temperatura máxima externa neste dia (Gráfico 8) foi de 28,50 °C, às 16h04min. Neste mesmo instante a temperatura interna do protótipo 1 era de 29,80 °C, 1,3 °C mais elevada que a temperatura externa. Já o protótipo 2 teve sua temperatura máxima de 26,3 °C, com um atraso térmico de 1 hora. A diferença de temperatura entre o protótipo 2 e a temperatura máxima externa no mesmo horário chegou a 2,5 °C.

Além disso, a maior diferença de temperatura entre os protótipos 1 e 2 foi de 3,9 °C, às 15h34min, horário muito próximo da maior radiação solar do dia que aconteceu às 15h04min e chegou a 1066 W/m². Esta diferença encontrada é apenas um pouco superior aos casos anteriores, o que mostra que a pintura branca não exerceu muita influência sobre o desempenho térmico da fachada ventilada.

4.3 Resumo dos Resultados Encontrados

O resumo dos dados de transmitância térmica e capacidade térmica dos protótipos 1 e 2 encontram-se no Quadro 17

Quadro 17 – Transmitância térmica e capacidade térmica dos protótipos 1 e 2

Propriedades	Protótipo 1	Protótipo 2
Transmitância térmica (W/m ² .K)	3,53	1,41
Capacidade térmica kJ/(m ² .K)	160,52	199,98

Fonte: Elaborado pela Autora, 2017.

Na situação 1 o protótipo encontrava-se com ventilação interna e as placas da fachada ventilada na cor natural. O dia com maiores diferenças de temperatura entre a temperatura externa e o protótipo 2 e entre a temperatura dos dois protótipos no período analisado (04/09/17 a 16/10/17) foi no dia 16/10/17. A temperatura máxima externa neste dia foi de 29,1 °C às 15h47min, e a radiação solar máxima de 991 W/m².K. A maior diferença de temperatura encontrada entre a temperatura externa e interna do protótipo 2 foi de 4,5 °C, já entre o protótipo 1 e 2 foi de 3,4 °C.

A análise da situação 2, quando o protótipo 2 estava vedado e suas placas na cor natural, ocorreu entre os dias 18/10/17 a 06/11/17. O dia de maior resultado para o estudo foi no dia 02/11/17. Neste dia a temperatura máxima foi de 30,3 °C, sendo a maior radiação solar de 999 W/m².K. A maior diferença de temperatura entre o protótipo 2 e a temperatura externa foi de 6,1 °C às 12h26min. Quando comparados os dados de temperatura do protótipo 1 e 2, a maior diferença ocorreu às 15h36min.

Durante a situação 3 (07/11/17 a 14/11/17), quando ocorreu a pintura das fachadas ventiladas de branco e manteve-se a vedação do protótipo 2, a maior temperatura externa alcançada foi de 28,5 °C no dia 07/11/17. A diferença entre a temperatura externa e a temperatura interna do protótipo 2 nesta data chegou a 2,5 °C, já a diferença entre o protótipo 1 e 2 foi de 3,9 °C.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na primeira parte deste estudo a pesquisa bibliográfica buscou a contextualização dos princípios da sustentabilidade e desse conceito aplicado a construção civil, percebe-se a urgência e a importância da pesquisa e utilização de novas técnicas construtivas capazes de desempenhar uma eficiência energética maior do que as tecnologias construtivas que são amplamente difundidas na atualidade. Percebe-se a falta de técnicas mais eficientes relacionadas ao isolamento térmico de paredes externas no país, delimitando-se desta forma ao desenvolvimento deste trabalho às fachadas ventiladas. Leva-se em consideração que apesar de ser uma técnica amplamente difundida em países desenvolvidos, existe uma grande lacuna dos seus resultados quando aplicados ao território brasileiro. A principal vantagem do uso de fachadas ventiladas em edificações é o isolamento térmico e a estabilidade de temperatura que este sistema pode propiciar à uma edificação.

Quando trata-se de normas Regulamentadoras Brasileiras não encontra-se indicação sobre regulamentações a respeito de fachadas ventiladas e as NBR 15575 (ABNT, 2013) e a NBR 15220 (ABNT, 2005) exigem condições de desempenho térmico não muito elevadas. A NBR 15575 (ABNT, 2013) exige dois quesitos relacionados ao desempenho térmico de paredes de vedação: a transmitância térmica e a capacidade térmica. Enquanto isto, encontra-se um roteiro de cálculo para tais propriedades na NBR 15220 (ABNT, 2005). Os cálculos realizados neste trabalho comprovam que o sistema de fachada ventilada tem um desempenho térmico elevado quando comparado ao sistema de vedação tradicional, possuindo transmitância térmica de $1,41 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e capacidade térmica de

199,88 kJ/(m².K), ambos valores dentro do estabelecido pela norma. Quando comparado à outros estudos, os resultados encontrados neste trabalho também apresentam um melhor desempenho térmico.

No entanto, conclui-se que apesar das inúmeras variáveis desconsideradas nos cálculos de propriedade térmica, tendo em vista o roteiro de cálculo simplificado da NBR 15575 (ABNT, 2013), os resultados experimentais de desempenho térmico, medidos através do uso de sensores e protótipos, foram positivos e apresentado em diversos gráficos neste trabalho. Apesar da falta de isolamento térmico da cobertura e reboco interno nos protótipos, bons resultados foram obtidos. Além de uma temperatura máxima mais amena que a máxima diária em todas as situações analisadas, notou-se que com o aumento da radiação solar com o passar dos dias a eficiência do sistema foi acentuada. Durante a coleta de dados da situação 2, a diferença de temperatura entre o protótipo 2 e a temperatura externa chegou a 6,1 °C no dia 02/11/17, já na situações 3 a diferença de temperatura entre o protótipo 1 e o protótipo 2 chegou a 3,9 °C no dia 07/11/17.

Percebe-se que durante o período da noite a perda de calor do protótipo com o sistema de fachada ventilada é menor do que o protótipo sem o sistema. Esta menor perda de calor fica mais acentuada com a vedação do protótipo 2. No entanto, para utilização em períodos de inverno, um estudo mais aprofundado sobre o assunto deve ser realizado.

Dentre os sistemas de isolamento térmico de paredes externas existente, conclui-se que o sistema de fachada ventilada tem grande potencial para a redução do consumo de energia no país, trazendo um desempenho térmico elevado para a edificação. Sugere-se a continuação do estudo da eficiência de fachadas ventiladas através da simulação computacional, utilização de placas compostas por materiais com baixa condutividade térmica, assim como diferentes espessuras para a câmara de ar, além da implementação conjunta de um isolamento térmico para a cobertura.

REFERÊNCIAS

ADAMS, W. M. The Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century. **Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting, 29-31 January 2006**. Disponível em: < http://cmsdata.iucn.org/downloads/iucn_future_of_sustainability.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2017.

AMORIN, Ana R. C. **Contribuição para a Construção Sustentável: Projetar para a Desconstrução**. 2015. 117 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Técnico Lisboa, Portugal, Lisboa, 2015.

ARDUINO. Arduino Mega. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 5738** – Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____**NBR 5739** – Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____**NBR 15220** – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 1. Rio de Janeiro, 2005.

_____**NBR 15220** – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2. Rio de Janeiro, 2005.

_____**NBR 15220** – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3. Rio de Janeiro, 2005.

_____**NBR 15575** –Edifícios habitacionais - Desempenho – Parte 1. Rio de Janeiro, 2013.

_____**NBR 15575** –Edifícios habitacionais - Desempenho – Parte 4. Rio de Janeiro, 2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (ABRAPEX). **Manual de utilização EPS na construção civil**. São Paulo, 2006.

BARDELIN, Cesar E. A. **Os Efeitos do Racionamento de Energia Elétrica Ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com Ênfase no Consumo de Energia Elétrica**. 2004. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BELGIAN BUILDING RESEARCH INSTITUTE - BBRI. **Source book for a better understanding of conceptual and operational aspects of active facades**. Department of Building Physics, Indoor Climate and Building Services, Belgian Building Research Institute, 2002. Version nº 1.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 153 p. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília: ANEEL, 2002.

BRUNTLAND, Gro H. (editor). **Our Common Future: The World Commission on Environment and Development**. Oxford: Oxford University Press. 398pp. 1987.

BRY SARTÉ, S. **Sustainable Infrastructure: the guide to green engineering and design**. 1. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2010.

CAMPOS, Karina F. **Desenvolvimento de sistema de fixação de fachada ventilada com porcelanato de fina espessura**. 2011. 189 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

CARDOSO, Ernani B. **Estudo do Desempenho Térmico de uma Fachada Ventilada Segundo NBR 15.220 e NBR 15.575**. 2009. 113 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, dez. 2009.

CAUSS, Leonel W. **Sistema de Fachada Ventilada em Edificações: Características, Métodos Executivos e Aplicações**. 2014. 122 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2 dez. 2014.

CHATHAM, Andrew; HARRISON, Kate.; MEYER-BOAKE, Terri. **The Tectonics of the Double Skin: Green Building or Just more Hi-Tech Hi-Jinx?** University of Waterloo, School of Architecture. Disponível em: <<http://www.tboake.com/pdf/tectcase.pdf>>. Acesso em: 6. Mai. 2017.

CHEMIN, Beatris F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação**. 3. ed. Lajeado: Univates, 2015.

CIAMPI, Mario; LECCESE, Francesco; TUONI, Giuseppe. **Ventilated Facades Energy Performance in Summer Cooling of Buildings**. Solar Energy, V. 75, nº 6, 2003, p. 491-502. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X03003396>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

CORRÊA, Lásaro R. **Sustentabilidade na Construção Civil**. 2009. 70 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

CULP, Charles H; DIXIT, Manish K.; FERNÁNDEZ-SÓLIS, José L.; LAVY, Sarel. **Identification of parameters for embodied energy measurement**: A literature review. In: _____. *Energy and Buildings*, v. 42, n° 8, 2010, p. 1238-1247. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810000472>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

DIREITO, Joana F. **Estudo da segurança contra incêndio em fachadas ventiladas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, jun. 2011.

DIXON, Willmott, (2010). **The Impacts of Construction and the Built Environment**, Briefing Notes, Willmott-dixon Group.

DOSSIER técnico-económico: Fachada ventilada. **Construlink.com**, 2006. Disponível em: <https://engenhariacivil.files.wordpress.com/2008/01/dossier_economico.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2017.

DUTRA, Luciano; LAMBERTS, Roberto; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. São Paulo: Eletrobrás/Procel, 2014.

DUTRA, Miguel R. **Caracterização de revestimentos em fachadas ventiladas: Análise do comportamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). 2010. 102p. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Porto, mar. 2010.

ELETROBRÁS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005**: classe Residencial Relatório Brasil - Sumário Executivo. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS; PROCEL, 2009. 187 p. (Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil).

FAVEGRUP, Fachadas Ventiladas. **Focus Plan – SC**. Disponível em: < <http://www.favegrup.com/index.php/projetos/item/182-focus-plan>> . Acesso em: 6 mai. 2017.

FAVETON. Disponível em: <<http://www.faveton.com/en/home>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

FAVOINO, Fabio; JIN, Qian; OVEREND, Mauro. Design and Control Optimisation of Adaptive Insulation Systems for Office Buildings. Part 1: Adaptive Technologies and Simulation Framework. **Energy**, v. 127, n. 1, p. 301-309, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217304589>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

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

GIVONE, Baruch. **Confort Climate Analysis and Building Design Guidelines**. Energy and Buildings, n. 18. P. 11/23.

GUIMARÃES, Erika T. Solução de Fachadas Duplas Ventiladas. 2013. 102p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, ago. 2013.

HAWKEN, Paul; LOVINS, Hunter L.; LOVINS, Amory. **Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution**. 1999, 1ª ed. US Green Building Council.

HOBBY ELECTRONICS. **RHT03 - Humidity and Temperature Sensor**. Disponível em: < <http://www.hobbytronics.co.uk/rht03-humidity-temp-sensor>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Conforto térmico humano**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/confortotermicoHumano>>. Acesso em: 3 mai. 2017.

KISS, Paulo. Pulmões Prediais. **Revista Técnica**, v. 39, mar. 1999. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/39/artigo286158-1.aspx>>. Acesso em: 6 mai. 2017.

LAMBERTS, Roberto. et al. **Desempenho Térmico de Edificações**. Apostila, disciplina: ECV 5161. LabEEE. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, mar. 2016.

MARI JÚNIOR, Alvaro; MARI, Angelo Gabriel; CABRAL, Ana Cláudia; FRIGO, Elisandro P.; SANTOS, Reginaldo F. Vantagens e Desvantagens de Energia Hidráulica. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.2, n.4, p. 20-28, 2013

MATEUS, Ricardo. F. M. S. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. 2004. 224 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2004

MAZZAROTTO, Ana Carolina Elizabeth K. **Uso do sistema de fachadas duplas ventiladas em edifícios em Curitiba**: verificação computacional de desempenho comparativo com soluções convencionais. 2011. 263 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MEINHOLD, Bridgette. UCSD's Campus Catering Building Reflects The Ocean with Its Checkerboard Blue Glass Facade. **Inhabitat**, 5 abr. 2011. Disponível em: < <http://inhabitat.com/ucsd%E2%80%99s-campus-catering-building-reflects-the-ocean-with-its-checkerboard-blue-glass-facade/>>. Acesso em: 6 mai. 2017.

MEISNER, Gary. The UN Secretariat Building, Le Corbusier and the Golden Ratio. **The Golden Number**. 25 Junho, 2014. Disponível em: < <https://www.goldennumber.net/un-secretariat-building-golden-ratio-architecture/>>. Acesso em: 6 mai. 2017.

MENDES, Francisco M. V. P. **Durabilidade das fachadas ventiladas**: Aplicação da norma ISO 15686-1. 2009 67p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, fev. 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional – BEN 2016**. Relatório Final. Brasília, 2014. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

MOURA, Eride. Fachadas respirantes. **Revista Técnica**. São Paulo, Edição 144, p. 43-41, março. 2009. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/144/fachadas-respirantes-fachadas-ventiladas-combinam-funcoes-esteticas-com-bom-287636-1.aspx>>. Acesso em: 12 mai. 2017.

NAKAMURA, Juliana. Granito para Fachada. **Revista aU**, ed. 181, abr. 2009. Disponível em: <http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/181/como-especificar-fachadas-de-granito-131104-1.aspx>. Acesso em: 5 mai. 2017.

OLIVEIRA, Luciana A. de. **Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves**. 2009. 267 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ORTIZA, José; PÉREZ-LOMBARD, Luis; POUT, Christine. **A review on buildings energy consumption information**. In: _____. *Energy and Buildings*, v. 40, nº 3, 2008, p. 394-398. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778807001016>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

PREFA ITALIA. **SIDING – Aluminium Slats for Ventilated Facades**. Disponível em: <http://www.archiproducts.com/en/products/prefa-italia/aluminum-slats-for-ventilated-facades-siding_4979>. Acesso em: 6 mai. 2017.

SANTOS FILHO, Vamberto M. dos. **Análise de Desempenho Térmico e Acústico de Fachadas Ventiladas de Porcelanato à Luz da Norma de Desempenho**: Estudo De Caso Em Brasília-DF. 2015. 140 p. Dissertação de Mestrado (Departamento de Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Brasília, 19 jun. 2015.

SIQUEIRA JÚNIOR, Amaury A. de. **Tecnologia de fachadas-cortina com placas de grés porcelanato**. 2003. 199p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo, 5 mar. 2003.

SOUSA, Fernando M. F. - **Fachadas ventiladas em edifícios**: Tipificação de soluções e interpretação do funcionamento conjunto suporte/acabamento. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, jun. 2010.

SPINELLI, Rodrigo. **Ventilação Natural na Construção Civil**: Análise de Alternativas para Implantação de Sistemas para o Clima Subtropical. 2015. 129p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Centro Universitário Univates, Lajeado, jul. 2015.

SPINELLI, Rodrigo; KONRAD, Odorico; CAMBEIRO, Faustino P.; AHLERT, Edson; SPINELLI, Fabiana B.; QUDROS, Eric Augusto; **Bioclimatic Strategies for the City of Lajeado/RS-Brazil, Using Data Analysis of Regional Climate**. Revista Brasileira de Climatologia. Ano 13, V. 21, Jul-Dez, 2017.

STREICHER Wolfgang (Org.), **Bestfaçade**: Best Practice for Double Skin Façades – EIE/04/135/S07.38652. WP 1 Report “State of the Art”.

SUNG, Doris. A New Look at Building Facades as Infrastructure. **Engineering**, v. 2, n. 1, p.63-68, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809916301497>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

VEDOVELLO, Cintia A. da S. **Gestão de Projetos de Fachadas**. 2012. 406 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

TECHNOBORD, Fitas e Componente para Móveis. **Perfis de Alumínio para Porta de Vidro DES – 844**. Disponível em: <<http://tecnobord.com.br/portfolio/perfil-de-alumino-des-844/>>. Acesso em: 3 nov. 2017.

THEIS, Tom. Chapter 1 Introduction to Sustainability: Humanity and the Environment. In: THEIS, Tom; TOMKIN, Jonathan (Orgs.). **Sustainability: A Comprehensive Foundation**. Houston: Rice University, 2012. v. 1.40. p. 5-14. E-book. Disponível em: <https://www.earth.illinois.edu/UserFiles/Servers/Server_4102/File/documents/sustain_comp_found.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2017.

UCIU, Felicia; CATALINA, Tibeliu; VARTIEES, Andreea; COLDA, Iolanda. **Impact of Nocturnal Natural Ventilation on The Energy Consumption Of Buildings**. Mathematical Modelling in Civil Engineering, v. 13, n^o. 2, 2017, p. 17 - 26.

UNITED NATIONS. **Process of preparation of the Environmental Perspective to the Year 2000 and Beyond**. 19 dez. 1983. Meeting n^o 102. Disponível em: <<http://www.un.org/documents/ga/res/38/a38r161.htm>>. Acesso em: 3 mai. 2017.

ULMA. **Edifício Residencial “Atlântico” – Córdoba**. Disponível em: <<http://www.ulmaarchitectural.com/br/fachadas-ventiladas/>>. Acesso em: 6 mai. 2017.

ULMA. **Fachadas Ventiladas Ulma em Concreto Polímero**. Disponível em: <<http://www.ulmaarchitectural.com/br/fachadas-ventiladas/linha-de-produtos/vanguard/texturas/>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

UNIVATES. Mapa do Campus. Disponível em: <<http://www.univates.br/institucional/mapa-do-campus>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

UNIVATES. Sobre o NIH. Disponível em: <<https://www.univates.br/nih/sobre-o-nih>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações**: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais , fundações profundas. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

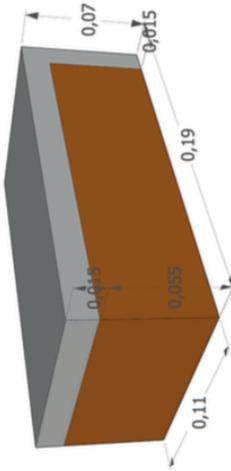
VSB, Piso de Granito. **Fachada Aerada em Granito**. 10 jun. 2016. Disponível em: < <http://www.pisodegranito.com/blog/dicas/fachada-aerada-em-granito>>. Acesso em: 6 mai. 2017.

YILMAZ, Mustafa. BAKIŞ, Adem. Sustainability in Construction Sector. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v. 195, n. 3, p. 2253-2262, 2015. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187704281503791X>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

APÊNDICE A - Planilha de Cálculo de Transmitância Térmica e Capacidade Térmica

Cálculo de Resistência Térmica e Transmitância Térmica de Acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005)

Dimensões dos Elementos			
	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)
Tijolo Magico	0,19	0,11	0,055
Argamassa - Junta Horizontal	0,19	0,015	
Argamassa - Junta Vertical		0,015	0,07



Resistência Térmica Superficial Interna e Externa					
Rsi (m².K/W)		Rse (m².K/W)			
Direção do Fluxo de Calor		Direção do Fluxo de Calor			
Horizontal	Ascendente	0,13	0,1	0,17	0,04
	Descendente				0,04
				Ascendente	0,04
				Descendente	0,04

PROTÓTIPO 1

Dados relativos ao fluxo de calor horizontal		
Propriedades	Tijolo	Argamassa
Espessura (m)	0,11	0,11
Condutividade térmica (W/m.K)	0,9	1,15
Resistência Térmica (m ² .K/W)	0,1222	0,0957
Área de troca térmica (m ²)	0,0105	0,0039
Calor Específico (kJ/kg.K)	0,9200	1
Densidade de Massa Aparente (kg/m ³)	1450,00	1950,00
Capacidade Térmica (kJ/(m ² .K))	146,74	214,50

1.1 Resistência Térmica

$$R = e/\lambda$$

Onde:

R - Resistência térmica

e - Espessura (m)

λ - Condutividade térmica

Seção A: Tijolo Cerâmico

$$\text{Resistência Térmica (Ra)} = 0,1222 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$\text{Área da Seção (Aa)} = 0,0105 \text{ m}^2$$

Seção B: Argamassa

$$\text{Resistência Térmica (Rb)} = 0,0957 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$\text{Área da Seção (Ab)} = 0,0039 \text{ m}^2$$

Resistência Térmica da Parede (Rt)

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}$$

$$R_t = 0,1136 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

1.2 Resistência Térmica Total (RT)

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$RT = 0,2836 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$$

1.3 Transmissão Térmica (U)

$$U = 1/RT$$

$$U = 3,5256 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$$

1.4 Capacidade Térmica da Parede (Ct)

$$C_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{CT_a} + \frac{A_b}{CT_b}}$$

Seção A: Tijolo Cerâmico

$$\text{Capacidade Térmica (CTa)} = 146,7400 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

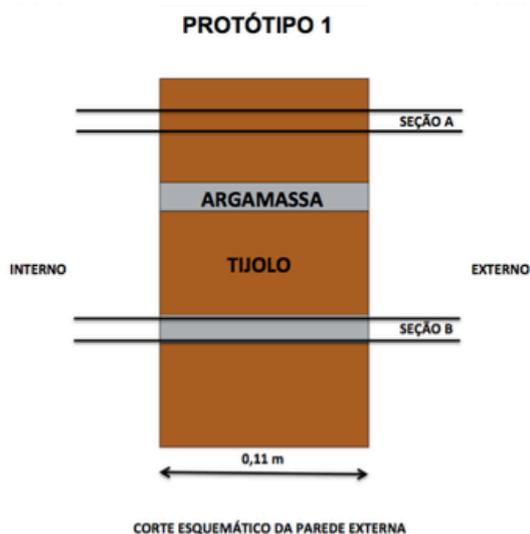
$$\text{Área da Seção (Aa)} = 0,0105 \text{ m}^2$$

Seção B: Argamassa

$$\text{Capacidade Térmica (CTb)} = 214,5000 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$\text{Área da Seção (Ab)} = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$C_t = 160,52 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$



PROTÓTIPO 2

Dados relativos ao fluxo de calor horizontal			Placa	
Propriedades	Tijolo	Argamassa	Argamassa	EPS
Espessura (m)	0,11	0,11	0,02	0,01
Condutividade térmica (W/m.K)	0,9	1,15	1,15	0,04
Resistência Térmica (m ² .K/W)	0,1222	0,0957	0,0174	0,2500
Área de troca térmica (m ²)	0,0105	0,0039	Total	Total
Calor Específico (kJ/kg.K)	0,9200	1	1	1,42
Densidade de Massa Aparente (kg/m ³)	1450,00	1950,00	1950	25
Capacidade Térmica (kJ/(m ² .K))	146,74	214,50	39,0000	0,3550

2.1 Resistência Térmica

$$R = e/\lambda$$

Onde:

R - Resistência térmica

e - Espessura (m)

λ - Condutividade térmica

Seção A: Tijolo Cerâmico

$$\begin{aligned} \text{Resistência Térmica (Ra)} &= 0,1222 \text{ m}^2.\text{K/W} \\ \text{Área da Seção (Aa)} &= 0,0105 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Seção B: Argamassa

$$\begin{aligned} \text{Resistência Térmica (Rb)} &= 0,0957 \text{ m}^2.\text{K/W} \\ \text{Área da Seção (Ab)} &= 0,0039 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Resistência Térmica da Parede (Rt parede)

$$Rt = \frac{Aa + Ab}{Ra \cdot Rb}$$

$$Rt \text{ parede} = 0,1136 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Resistência Térmica da Placa (Rt placa)

$$Rt \text{ placa} = 0,2674 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Resistência Térmica do Conjunto - Verão

$$\begin{aligned} Rt \text{ verão} &= Rt \text{ Parede} + Rt \text{ Placa} + Rt \text{ camada de ar} \\ Rt \text{ camada de ar} &= 0,16 \\ (\text{Quadro 3 - alta emissividade / } e = 3\text{cm}) \\ Rt \text{ verão} &= 0,5410 \end{aligned}$$

2.2 Resistência Térmica Total (RT) - Verão

$$RT = 0,7110 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

2.3 Transmitância Térmica (U) - Verão

$$U = 1/RT = 1,4064 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

2.4 Capacidade Térmica da Parede (Ct)

$$Ct = \frac{Aa + Ab}{Ct_a \cdot Ct_b}$$

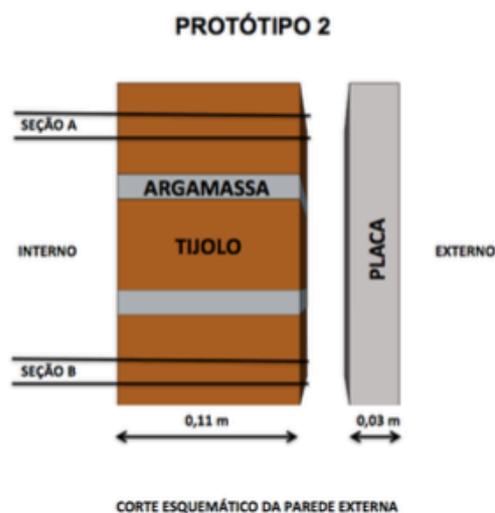
Seção A: Tijolo Cerâmico

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Térmica (CTa)} &= 146,7400 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K}) \\ \text{Área da Seção (Aa)} &= 0,0105 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Seção B: Argamassa

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Térmica (CTb)} &= 214,5000 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K}) \\ \text{Área da Seção (Ab)} &= 0,0039 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ct \text{ parede} &= 160,52 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K}) \\ Ct \text{ placa (EPS + Argamassa)} &= 39,3550 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K}) \\ Ct \text{ total} &= 199,8763 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K}) \end{aligned}$$

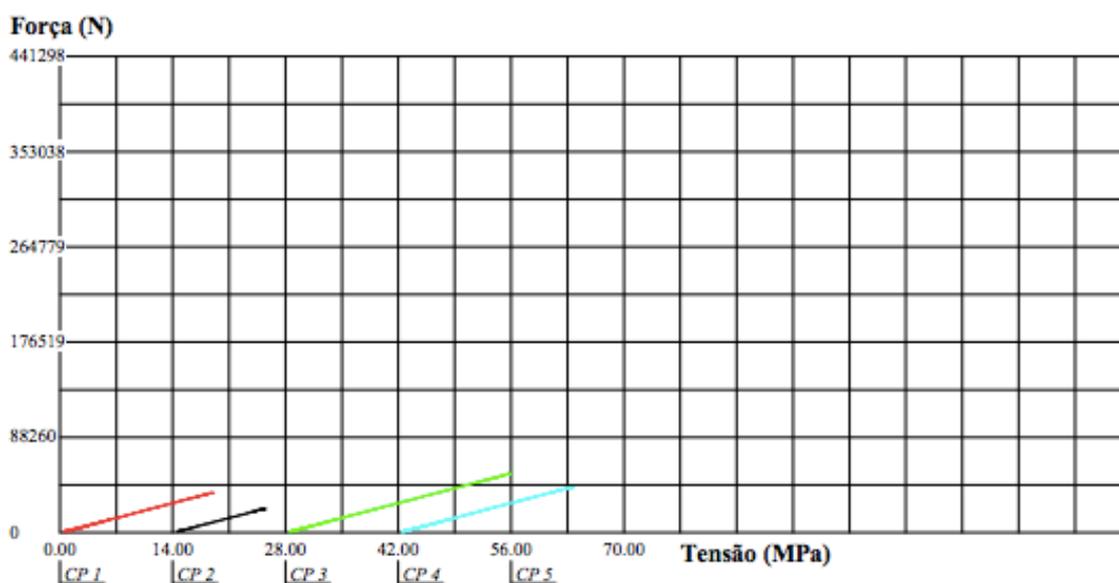


ANEXO A – Resultado do Teste à Compressão em 7 Dias

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic SSH300** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **25/05/2017** Hora: **08:13:55** Trabalho nº **1152**
 Programa: **Tesc versão 4.00** Método de Ensaio: **Compressão CP 10x5 argamassa**
 Ident. Amostra: >>> Cliente: **TCC ALUNOS SPINELLI** Identificação: **ARGAMASSA PLACAS** Operador: **MARCELO**

Corpo de Prova	Área (mm ²)	Força Máxima (kgf)	Resistência à Compressão (MPa)	Código	Idade
CP 1	1963.49	3775.93	18.86	TIPO 1	7
CP 2	1963.49	2263.83	11.31	TIPO 2	7
CP 3	1963.49	5564.53	27.79	TIPO 3	7
CP 4	1963.49	4311.65	21.53	TIPO 4	7
Número CPs	4	4	4	0	0
Média	1963	3979	19.87	*	*
Mediana	1963	4044	20.20	*	*
Desv.Padrão	0.0000	1367	6.828	*	*
Coef.Var.(%)	0.0000	34.36	34.36	*	*
Mínimo	1963	2264	11.31	*	*
Máximo	1963	5565	27.79	*	*



Fonte: LATEC, (2017).



UNIVATES

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09