



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES A PARTIR  
DA UTILIZAÇÃO DE BLOCOS DE SOLO-CIMENTO**

Alana da Silva

Lajeado, novembro de 2019



Alana da Silva

## **ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE BLOCOS DE SOLO-CIMENTO**

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

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Spinelli

Lajeado, novembro de 2019

Alana da Silva

## **ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE BLOCOS DE SOLO-CIMENTO**

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

Prof. Dr. Rodrigo Spinelli – Orientador  
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof.<sup>a</sup> Me. Carolina Becker Pôrto Fransozi  
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof.<sup>a</sup> Me. Helena Batista Leon  
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Lajeado, novembro de 2019

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço unicamente aos meus pais, por todo o suporte dado no decorrer da minha caminhada, pois sem eles, não chegaria até aqui. À minha mãe, Adriana, por ter me incentivado desde cedo a buscar pelo conhecimento, e prezar pela minha educação. Ao meu pai, João Carlos, por não medir esforços para me auxiliar em qualquer momento que se fez necessário.

## RESUMO

Diante do atual cenário mundial, em relação ao consumo energético, práticas sustentáveis na área da construção civil estão se tornando cada vez mais frequentes, por se tratar de um dos setores com o maior percentual de consumo de energia gerada no mundo. Desta forma, busca-se a utilização de novas técnicas construtivas que permitam reduzir os impactos ambientais causados pela construção civil, tanto na sua execução, quanto no seu uso. Este trabalho, visa analisar o desempenho térmico do bloco vazado de solo-cimento utilizado em edificações. Para avaliar o seu desempenho quanto à resistência, sete corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão simples, atingindo uma resistência média de 2,2 MPa, de modo a atender os requisitos de resistência estabelecidos pela NBR 10836 (ABNT, 2013). Foram construídos dois protótipos em escala reduzida, um deles com o bloco aparente, e outro com reboco simples, para serem comparados com outros dois protótipos já existentes, feitos com tijolo cerâmico convencional, sendo mantidas semelhantes as demais características construtivas. A análise do desempenho térmico do material iniciou com a instalação de sensores, que mediram a temperatura interna de cada protótipo e do ambiente externo. Os valores obtidos por meio do cálculo da transmitância térmica, mostram que os protótipos construídos com o material solo-cimento atendem os requisitos para a Zona Bioclimática 2, conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013). A partir do cálculo da carga térmica de cada protótipo, pode-se observar que houve redução de 22% e 20% da carga térmica dos protótipos de tijolo convencional para os de bloco de solo-cimento, com e sem reboco, respectivamente. Entretanto, através das leituras de temperatura, pode-se fazer a comparação real do material de solo-cimento com o convencional. A partir dos dados coletados, os protótipos com blocos de solo-cimento mantiveram a temperatura interna mais elevada em relação aos de tijolo convencional, e, conseqüentemente, mais distante da temperatura de conforto térmico.

**Palavras chaves:** Solo-cimento. Sustentabilidade. Eficiência energética, Desempenho térmico.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte.....	19
Figura 2 – Consumo por setor da energia elétrica no Brasil.....	20
Figura 3 – Zonas bioclimáticas do Brasil.....	25
Figura 4 – Zona Bioclimática 2.....	26
Figura 5 – Carta bioclimática local.....	27
Figura 6 – Transmissão de calor por condução, convecção e radiação.....	29
Figura 7 – Etapas para a fabricação de blocos de solo-cimento.....	42
Figura 8 – Bloco de solo-cimento vazado.....	46
Figura 9 – Localização dos protótipos.....	48
Figura 10 – Fachada norte do Protótipo I.....	49
Figura 11 – Fachada norte do Protótipo II.....	49
Figura 12 – Fachada norte do Protótipo III.....	50
Figura 13 – Fachada norte do Protótipo IV.....	50
Figura 14 – FieldLogger.....	51
Figura 15 – Sensor PT 100.....	52

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Carga térmica dos protótipos no dia 09/09/2019.....	68
Gráfico 2 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo I no dia 09/09/2019.....	70
Gráfico 3 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo II no dia 09/09/2019.....	70
Gráfico 4 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo III no dia 09/09/2019.....	70
Gráfico 5 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo IV no dia 09/09/2019.....	71
Gráfico 6 – Carga térmica dos protótipos no dia 02/11/2019.....	72
Gráfico 7 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo I no dia 02/11/2019.....	73
Gráfico 8 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo II no dia 02/11/2019.....	74
Gráfico 9 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo III no dia 02/11/2019.....	74
Gráfico 10 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo IV no dia 02/11/2019.....	74
Gráfico 11 – Temperaturas e radiação solar no dia 09/09/2019.....	76
Gráfico 12 – Temperaturas e radiação solar no dia 30/09/2019.....	77
Gráfico 13 – Temperaturas e radiação solar no dia 01/10/2019.....	79
Gráfico 14 – Temperaturas e radiação solar no dia 12/10/2019.....	80
Gráfico 15 – Temperaturas e radiação solar no dia 02/11/2019.....	81

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Normas da ABNT relacionadas ao solo-cimento .....	35
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condutividade térmica dos materiais.....	53
Tabela 2 – Resistência superficial interna e resistência superficial externa.....	54
Tabela 3 – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas.....	55
Tabela 4 – Transmitância térmica máxima por zona.....	56
Tabela 5 – Resistência à compressão simples dos blocos de solo-cimento.....	57
Tabela 6 – Dados do Protótipo I para a transmitância térmica.....	58
Tabela 7 – Área e resistência de superfície a superfície para cada seção.....	59
Tabela 8 – Resistência térmica da cobertura e da camada de ar para todos os protótipos.....	60
Tabela 9 – Valores utilizados para determinação da resistência térmica total do Protótipo I.....	60
Tabela 10 – Resistência térmica total e transmitância térmica do Protótipo I.....	60
Tabela 11 – Espessura e condutividade térmica dos materiais do Protótipo II.....	61
Tabela 12 – Área e resistência de superfície a superfície para cada seção para o Protótipo II.....	61
Tabela 13 – Valores utilizados para determinação da resistência térmica total do Protótipo II.....	62
Tabela 14 – Resistência térmica total e transmitância térmica do Protótipo II.....	62
Tabela 15 – Dados do Protótipo III para calcular a transmitância térmica.....	63
Tabela 16 – Resistência térmica das camadas homogêneas e resistência térmica da camada de ar para o Protótipo III.....	63
Tabela 17 – Valores utilizados para determinação da resistência térmica total do Protótipo III.....	64

Tabela 18 – Resistência térmica total e transmitância térmica do Protótipo III.....	64
Tabela 19 – Dados do Protótipo IV para calcular a transmitância térmica.....	64
Tabela 20 – Resistência térmica da camada homogênea e resistência térmica da camada de ar do Protótipo IV.....	65
Tabela 21 – Valores utilizados para determinação da resistência térmica total do Protótipo IV.....	65
Tabela 22 – Resistência térmica total e transmitância térmica do Protótipo IV.....	65
Tabela 23 – Radiação solar ( $W/m^2$ ) incidente para a Latitude $30^\circ$ Sul.....	66
Tabela 24 – Absortância dos materiais das superfícies dos protótipos.....	67
Tabela 25 – Dados de dos protótipos I, II, III e IV para o cálculo do fluxo de calor.....	67
Tabela 26 – Fluxo de calor e carga térmica dos protótipos na hora mais quente do dia 09/09/2019.....	68
Tabela 27 – Fluxo de calor e carga térmica dos protótipos na hora mais quente do dia 02/11/2019.....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
cm	Centímetro
CEPED	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia
CT	Capacidade térmica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
H	Altura
°C	Graus célsius
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
I	Radiação Solar
kgf	Quilograma-força
K	Kelvin
L	Largura
LATEC	Laboratório de Tecnologias da Construção
m	Metro
mm	Milímetro
M	Mínimo
Mpa	Megapascal
Mt	Megatonelada
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NIH	Núcleo de Informações Hidrometereológicas
%	Por cento
PCA	Portland Cement Association

PIB	Produto Interno Bruto
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
$R_{ar}$	Resistência térmica da camada de ar
$R_{se}$	Resistência térmica superficial externa
$R_{si}$	Resistência térmica superficial interna
RS	Rio Grande do Sul
$R_t$	Resistência térmica
$R_T$	Resistência térmica total
s	Segundo
S	Superior
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
$T_{ext}$	Temperatura externa
$T_{int}$	Temperatura interna
U	Transmitância térmica
W	Watt
$\alpha$	Absortância
$\lambda$	Condutividade térmica
$\varepsilon$	Emissividade

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.1 Objetivo geral .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2 Justificativa.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3 Delimitação do tema .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4 Estrutura .....</b>	<b>17</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Consumo energético no Brasil e no mundo .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.1 Consumo de energia na construção civil.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.2 Eficiência energética em edificações .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Desempenho térmico de edificações .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.1 NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.2 NBR 15575 – Edificações habitacionais - Desempenho .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3 Zonas bioclimáticas .....</b>	<b>25</b>
<b>2.4 Conforto térmico .....</b>	<b>27</b>
<b>2.5 Propriedades térmicas.....</b>	<b>28</b>
<b>2.5.1 Transferência de calor .....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.2 Condutividade térmica.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5.3 Transmitância térmica .....</b>	<b>31</b>
<b>2.5.4 Resistência térmica.....</b>	<b>31</b>
<b>2.5.5 Carga térmica .....</b>	<b>32</b>
<b>2.5.6 Capacidade térmica e calor específico.....</b>	<b>32</b>

2.5.7 Atraso térmico .....	33
2.6 Sustentabilidade na construção civil .....	33
2.7 Solo-cimento.....	34
2.7.1 Breve histórico do solo como material de construção.....	36
2.7.2 Materiais.....	37
2.3.7 Dosagem e processo de fabricação do solo-cimento.....	40
2.7.3 Vantagens e desvantagens .....	42
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	45
3.1 Tipo de pesquisa .....	45
3.2 Blocos de solo-cimento - Requisitos.....	45
3.3 Protótipos .....	47
3.3.1 Materiais para execução dos protótipos .....	50
3.4 Coleta de dados com sensores.....	51
3.5 Determinação da transmitância térmica.....	52
3.6 Carga térmica e simulação de eficiência energética.....	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	57
4.1 Verificação da resistência à compressão .....	57
4.2 Transmitância térmica .....	58
4.2.1 Protótipo I – Tijolo maciço convencional sem revestimento .....	58
4.2.2 Protótipo II – Tijolo maciço convencional com revestimento .....	60
4.2.3 Protótipo III – Bloco de solo-cimento com revestimento.....	62
4.2.4 Protótipo IV – Bloco de solo-cimento sem revestimento .....	64
4.3 Carga térmica .....	66
4.3.1 Dia 09 de setembro de 2019 .....	67
4.3.2 Dia 02 de novembro de 2019 .....	71
4.4 Análise das temperaturas e radiação solar.....	75
4.4.1 Dia 09 de setembro de 2019 .....	75
4.4.2 Dia 30 de setembro de 2019 .....	77
4.4.3 Dia 01 de outubro de 2019 .....	78
4.4.4 Dia 12 de outubro de 2019 .....	80
4.4.5 Dia 02 de novembro de 2019 .....	81
5 CONCLUSÃO .....	83
REFERÊNCIAS.....	86

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento progressivo do consumo energético é uma questão de grande impacto ambiental, social e econômico. Segundo Giorgi (2016), a Revolução Industrial no século XX gerou um grande impulso no consumo de energia, devido à diminuição do seu custo de geração e também pela maior distribuição de renda na população, que proporcionou maior poder de consumo e, desde então, este consumo só tem aumentado. Embora no Brasil a energia hidrelétrica predomine na matriz energética, quando analisado o panorama mundial, a geração de energia ainda tem como base os recursos não-renováveis, ou seja, os combustíveis fósseis. Tais combustíveis são recursos finitos e contribuem na emissão de gases, o que causa danos graves ao ambiente.

Atualmente, a indústria da construção civil é uma das que mais causa impactos ambientais, pois é um dos setores que tem maior demanda energética, desde a fase pré-operacional, na produção de materiais, no transporte e na execução da obra, até o seu uso e ocupação (MOURA; MOTTA, 2013). Segundo Melo (2011), o consumo de energia para a fabricação industrializada de materiais de construção é muito alto, então a utilização de materiais que requeiram menos energia no seu processo de produção é uma alternativa para reduzir o impacto que o alto consumo energético causa ao ambiente. De acordo com Benite (2011), o setor da construção civil consome 40% do total da energia produzida, gera 25% dos resíduos sólidos, consome 25% da água mundial, e utiliza materiais dos quais 30% são de matéria prima natural.

A eficiência energética de uma edificação deve procurar ir além da busca por materiais de baixo consumo de energia em sua produção, estes, devem estar

alinhados com a norma técnica sobre desempenho de edificações habitacionais, a NBR 15575 (ABNT, 2013). A norma determina que as construções sejam feitas com uma exploração e consumo dos recursos naturais de forma racional, e tenham um bom desempenho, se tornando edificações mais eficientes e diminuindo ao máximo os impactos ambientais, de forma que proporcionem economia e durabilidade, e ao mesmo tempo, garantam aos usuários adequadas condições de segurança e conforto.

A utilização de materiais e técnicas construtivas mais sustentáveis e com adequada viabilidade econômica, está ganhando espaço na indústria da construção civil. O solo, em seu estado natural, utilizado como material, é considerado uma alternativa sustentável para ser implementada neste setor. Embora, na maioria das vezes, por falta de informação, ainda exista certa resistência cultural por parte da população na utilização da técnica. Por se tratar de um material muito utilizado em construções precárias de forma inadequada, sem seguir recomendações técnicas, pode causar uma impressão de inferioridade em relação a, por exemplo, os tijolos cerâmicos queimados (BARBOSA; MATTONE; MESBAH, 2002).

Entretanto, o solo serve como matéria prima para os blocos que são o tema central a ser explorado no presente trabalho. De acordo com Grande (2003), os blocos solo-cimento são considerados um material de baixo consumo energético já no processo de extração de matéria-prima. Além de ser um material que dispensa a queima, pois é composto de solo em seu estado natural estabilizado com cimento, há também economia de energia quando os blocos são fabricados *in loco*, pois dispensam o consumo de combustível para o transporte.

## **1.1 Objetivos**

A partir do tema central acima exposto, a pesquisa foi traçada em um objetivo geral e de objetivos específicos, apresentados a seguir.

### **1.1.1 Objetivo geral**

Realizar a análise do desempenho térmico de blocos de solo-cimento, a fim de verificar o seu desempenho térmico, e as possíveis vantagens ou desvantagens de

sua utilização na construção de habitações em comparação com o bloco cerâmico convencional.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos dessa pesquisa são:

- a) executar protótipos de edificações em escala reduzida, utilizando blocos de solo-cimento;
- b) comparar as temperaturas medidas em protótipos construídos de solo-cimento com aquelas verificadas em protótipos de material convencional;
- c) analisar o conforto térmico através do cálculo do índice de transmitância térmica e de carga térmica do material;
- d) avaliar se o material contribui para a eficiência energética com base nos resultados da análise do desempenho térmico.

## **1.2 Justificativa**

Por se tratar de uma indústria que consome muitos recursos naturais, a partir dos anos 90, a construção civil rumou para uma tendência mais sustentável, após o tema “sustentabilidade” ser discutido em diversas conferências nacionais e internacionais, nas quais reconheceram que a construção é uma das principais causas de degradação do ambiente (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004).

Com o atual cenário, a importância da utilização de materiais sustentáveis nas construções surge como uma alternativa para a redução dos impactos causados por este setor, por isso, neste trabalho, buscou-se avaliar o desempenho térmico de blocos de solo-cimento e apresentar as suas vantagens e desvantagens na utilização em habitações, de forma a contribuir para disseminar este material que até então não é muito utilizado.

### **1.3 Delimitação do tema**

O tema deste trabalho, dá ênfase ao estudo e avaliação do desempenho térmico de blocos de solo-cimento, de modo a verificar a sua eficiência energética e quando utilizado em habitações como material sustentável. Outros fatores como a resistência mecânica, desempenho acústico, absorção da água e durabilidade devem ser considerados quando a utilização dos blocos, porém, não são objeto de pesquisa desta monografia.

### **1.4 Estrutura**

O presente trabalho subdivide-se entre cinco capítulos, e estes consistem em: Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Resultados e Discussões, e Conclusão, conforme explicitado a seguir.

A Introdução aborda o panorama geral de consumo energético e sustentabilidade de materiais na construção civil, para contextualizar o tema trabalhado na pesquisa, que são os blocos de solo-cimento. Neste capítulo, também constam os objetivos a serem alcançados e a justificativa da temática escolhida.

Na Revisão Bibliográfica, apresenta-se o embasamento teórico acerca do tema solo-cimento, que é o principal foco de pesquisa deste trabalho, bem como conceitos de desempenho térmico, eficiência energética e sustentabilidade, a partir de estudos já realizados por autores utilizados como referência.

A Metodologia visa detalhar descritivamente as etapas realizadas neste trabalho de pesquisa, através dos materiais e métodos utilizados para obter os resultados acerca do desempenho térmico de blocos de solo-cimento para avaliação dos mesmos.

O capítulo dos Resultados e Discussões, apresenta os cálculos realizados e os resultados obtidos através dos dados coletados, bem como as análises dos mesmos com base nas normas que tratam de conforto térmico.

Na sessão da Conclusão, apresentam-se as considerações sobre a pesquisa, referentes aos resultados obtidos e recomendações para trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo consiste na apresentação de conceitos revisados em bibliografias, que estão relacionados com o tema central do presente trabalho, como: consumo de energia no Brasil e no mundo, fundamentos de sustentabilidade na construção civil, eficiência energética, desempenho térmico de edificações, propriedades térmicas e o solo-cimento como material de construção.

### 2.1 Consumo energético no Brasil e no mundo

Atualmente o consumo de energia em todo o mundo não para de crescer, mesmo que em uma taxa desigual de acordo com o nível de desenvolvimento socioeconômico de cada local. Conforme Bermann (2002), caso os países que ainda estão em fase de desenvolvimento trilhem para o mesmo rumo dos países desenvolvidos para atingirem o mesmo padrão de vida, em alguns anos não existirá energia suficiente no mundo para atender a demanda de toda a população. Portanto, segundo o autor, o consumo energético extremamente alto nos países desenvolvidos, só é possível porque os recursos de geração de energia não são distribuídos igualmente por toda população mundial, ou seja, o excesso de alguns se dá pela falta em outros.

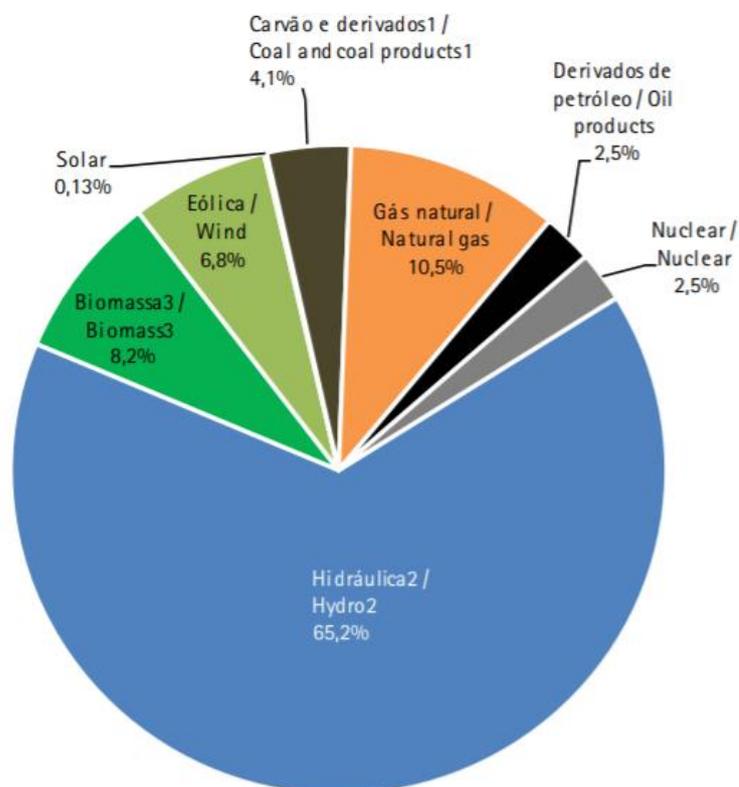
As fontes de energia são divididas entre renováveis e não renováveis. O petróleo, gás natural e carvão mineral, conhecidos por combustíveis fósseis, são fontes que contam com uma reserva esgotável e demoram milhões de anos para se formarem novamente, além de que, após realizada a queima, os resíduos ficam na

atmosfera a agravar o efeito estufa, enquanto que, por exemplo, a energia hidrelétrica, solar, eólica e de biomassa são consideradas fontes de energia renováveis, e que se utilizadas de forma correta resultam em um caráter sustentável (BERMANN, 2002).

O Brasil tem a sua matriz energética com predominância de fontes renováveis, de acordo com dados do Balanço Energético Nacional do ano base 2017 (EPE, 2018). A principal fonte de energia elétrica obtida é a hidráulica, que corresponde a 65,2% de toda a oferta nacional. Apesar de ser a fonte que predomina, a utilização de recursos hídricos teve uma redução de 2,6% em relação aos dados de geração de energia do ano de 2016. Já a produção de energia através de fontes não renováveis representa 20,8% da matriz energética total do Brasil, resultado de um aumento de 1,2% em relação ao ano anterior.

No gráfico ilustrado na Figura 1, apresenta-se o percentual que cada fonte de energia contribui para a matriz energética nacional.

Figura 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte



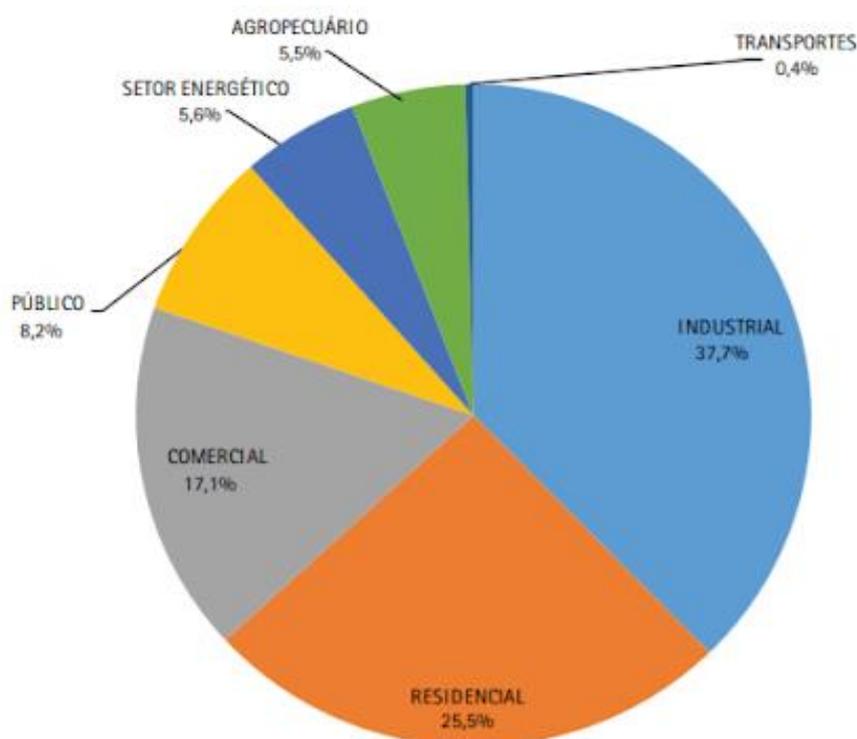
Fonte: EPE (2018).

### 2.1.1 Consumo de energia na construção civil

O setor da construção civil, colabora diretamente para o desenvolvimento socioeconômico nacional. De acordo com Abreu (2012), 13,8% do PIB brasileiro pertence à cadeia produtiva da construção civil, a qual abrange diversos subsetores que vão desde as indústrias (mineração, siderúrgicas, metalúrgicas, cerâmicas, madeireiras, de plásticos, elétricas, etc.) até as prestações de serviços (arquitetos, engenheiros, empreiteiros, etc.).

Do total da energia elétrica consumida no Brasil no ano de 2017, cerca de 50,3% foram utilizadas por edificações residenciais, comerciais e públicas, conforme levantamentos de dados da EPE (2018), conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Consumo por setor da energia elétrica no Brasil



Fonte: EPE (2018).

Embora as construções contribuam positivamente para o desenvolvimento do país, há um grande impacto ambiental causado por suas atividades. A construção civil é um dos setores que mais consome energia elétrica, de acordo com Benite (2011), da energia total produzida no mundo, cerca de 40% é consumida nas construções, o que colabora para este setor ser responsável por 1/3 das emissões de gases na

atmosfera que agravam o efeito estufa. O alto consumo de materiais na construção civil, causa problemas relacionados com a geração de resíduos, altíssimo consumo energético e emissão de gases na atmosfera (ABREU, 2012).

A grande utilização de energia nas construções dá-se majoritariamente na fase de uso e operação, com a climatização e iluminação artificial, bem como o uso de equipamentos. Uma menor parcela do consumo, cerca de 10 a 20%, destina-se à extração de matérias-primas para a produção de materiais e à fase de construção e/ou demolição (BENITE, 2011).

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2004), a utilização da iluminação e climatização artificial nas edificações foi sendo ampliada ao longo dos anos, pois coloca o projetista em uma posição cômoda, na qual não há grande preocupação em buscar soluções alternativas para adequar o projeto às condições do local em que será construído.

### **2.1.2 Eficiência energética em edificações**

O conceito de eficiência energética em edificações é definido por Lamberts, Dutra e Pereira (2004) como sendo a obtenção de um serviço com baixo consumo de energia, ou seja, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições de ambiente, porém, com menos consumo energético. Segundo Geller *apud* Lamberts, Dutra e Pereira (2004), torna-se mais viável buscar adequações para economizar energia do que investir no seu fornecimento. Vale ressaltar que, a busca pela eficiência energética não significa racionar o seu uso, mas sim utilizar a energia de modo a causar menos impactos ambientais e econômicos.

A principal finalidade da eficiência energética é proporcionar qualidade e conforto ao usuário, de forma a planejar já na fase de projeto. As características arquitetônicas sozinhas não são capazes de proporcionar a plena eficiência da edificação, portanto a utilização de climatizadores e equipamentos de iluminação são complementos ao projeto, os quais também devem ser utilizados através de tecnologias que garantam eficiência (AMORIM, 2002).

A avaliação de eficiência de uma edificação, é feita através da comparação entre uma edificação e outra quando estas apresentam características primárias semelhantes, como por exemplo, o formato, as dimensões e a finalidade de uso. A partir desta comparação inicial, pode-se então comparar as características consideradas secundárias, que são voltadas mais especificamente para as propriedades térmicas dos componentes da edificação. Entretanto, estas propriedades térmicas, geralmente já têm os seus valores delimitados por norma, e então a eficiência energética é comparada de acordo com o uso e ocupação de cada edificação (CARLO, 2008).

No que afirma Carlo (2008), as leis ou normas relacionadas à eficiência energética são uma prática muito utilizada em outros países. Os EUA, por exemplo, têm normas regulamentadas há mais de 30 anos. Mas somente no ano de 2001 com a crise energética nacional, que foi publicada no Brasil a Lei 10.295 - Lei da Eficiência Energética, regulamentada pelo Decreto 4.059, a qual regulariza a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia através de definição de parâmetros de referência para edificações energeticamente eficientes. De acordo com Carlo (2008), a Lei beneficiou o Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, o qual elaborou um o Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações, que foi subdividido nas seguintes linhas:

- a) arquitetura bioclimática;
- b) indicadores referências para edificações;
- c) certificação de materiais e equipamentos;
- d) regulamentação/legislação;
- e) remoção de barreiras à conservação de energia elétrica;
- f) educação.

Conforme informações do Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética desde o ano de 2009, o Brasil está entre os países que realizam a classificação da eficiência energética de edificações, a partir do lançamento do Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações

Comerciais (RTQ-C). No ano de 2010, houve uma revisão do regulamento e também a apresentação do Regulamento voltado para edificações residenciais (RTQ-R) (EPE, 2018).

## **2.2 Desempenho térmico de edificações**

O desempenho térmico em edificações é um dos principais fatores que contribui para torná-las mais eficientes. As normas brasileiras que condicionam a ter-se um desempenho térmico adequado são a NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005) e a NBR 15575 – Edificações habitacionais: Desempenho (ABNT, 2013).

De acordo com o exposto pela NBR 15575 (ABNT, 2013) normas de desempenho apresentam requisitos para atender os usuários, e podem ser consideradas normas complementares, pois não substituem as normas prescritivas. Elas definem requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos/premissas) e também os métodos para avaliação de desempenho.

Segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a avaliação do desempenho térmico pode ser realizada na fase de projeto, através de simulações computacionais, ou após a construção da edificação, através de medições de variáveis *in loco*.

### **2.2.1 NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações**

A NBR 15220 (ABNT, 2005), é dividida em cinco partes. A primeira parte consiste nas definições das grandezas, e os seus respectivos símbolos e unidades. Na segunda parte são apresentados os métodos de cálculo da transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e do fator solar dos elementos que compõem a edificação. A terceira parte, visa especificar as zonas bioclimáticas do Brasil para avaliação do desempenho térmico e as diretrizes de construção para habitações de interesse social. Na quarta e quinta parte, são apresentadas as medições de resistência térmica e da condutividade térmica, pelo método da placa quente protegida e pelo método fluximétrico, respectivamente.

### 2.2.2 NBR 15575 – Edificações habitacionais - Desempenho

A NBR 15575 (ABNT, 2013), se apresenta dividida em seis partes. A primeira parte, apresenta os requisitos gerais, a segunda os requisitos para sistemas estruturais, a terceira para sistemas de pisos, a quarta para sistemas de vedações verticais, a quinta para sistemas de coberturas e a sexta para sistemas hidrossanitários, sendo todos estes requisitos válidos para edificações de até cinco pavimentos.

No que se refere ao desempenho térmico, a primeira parte da norma apresenta o Capítulo 11, intitulado por “Desempenho Térmico”, o qual identifica que a habitação deve possuir características dentro das exigências de desempenho térmico, de acordo com a sua respectiva zona bioclimática, definida na NBR 15220-3 (ABNT, 2013).

Ainda no Capítulo 11, são apresentados dois procedimentos para realizar uma adequada avaliação das edificações. O primeiro procedimento é o simplificado (normativo), que consiste em estabelecer critérios para casos em que a avaliação da transmitância térmica e capacidade térmica resultem em um desempenho insatisfatório de acordo com a quarta e quinta parte da NBR 15575 (ABNT, 2013), para que, então, o projetista avalie a edificação através do método de simulação computacional. O *software* recomendado para a simulação é o *EnergyPlus*, que também é detalhado em outro item deste capítulo na norma. O segundo procedimento é o de Medição (informativo), o qual estabelece etapas para a realização de medições em habitações ou protótipos.

Conforme avaliação a partir dos critérios estabelecidos por norma, pode-se classificar o desempenho da edificação como mínimo (M), intermediário (I) e superior (S).

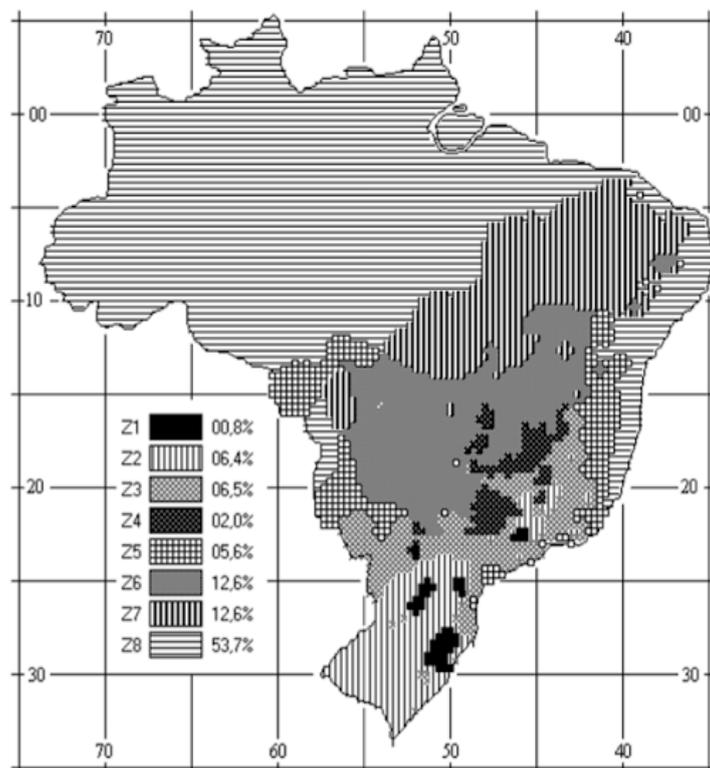
Na quarta parte da NBR 15575 (ABNT, 2013), são abordadas questões específicas quanto à avaliação do desempenho térmico de elementos de vedação da edificação. São especificados valores para transmitância térmica (U), e capacidade térmica (CT) de paredes externas conforme zonas bioclimáticas. Os seus métodos de avaliação, através de cálculos, estão apresentados na segunda parte da norma, NBR 15575 (ABNT, 2013). Caso os valores calculados não atendam aos requisitos do

exposto pela norma, deve-se realizar a simulação computacional através do *software EnergyPlus*, a qual não será realizada no presente trabalho.

### 2.3 Zonas bioclimáticas

O zoneamento bioclimático brasileiro é definido através da norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a qual divide o país em oito zonas conforme ilustra a Figura 3. As zonas são consideradas de clima homogêneo no território em que abrangem, e cada uma delas têm um conjunto de recomendações para a otimização do seu desempenho térmico de acordo com determinado clima.

Figura 3 – Zonas bioclimáticas do Brasil

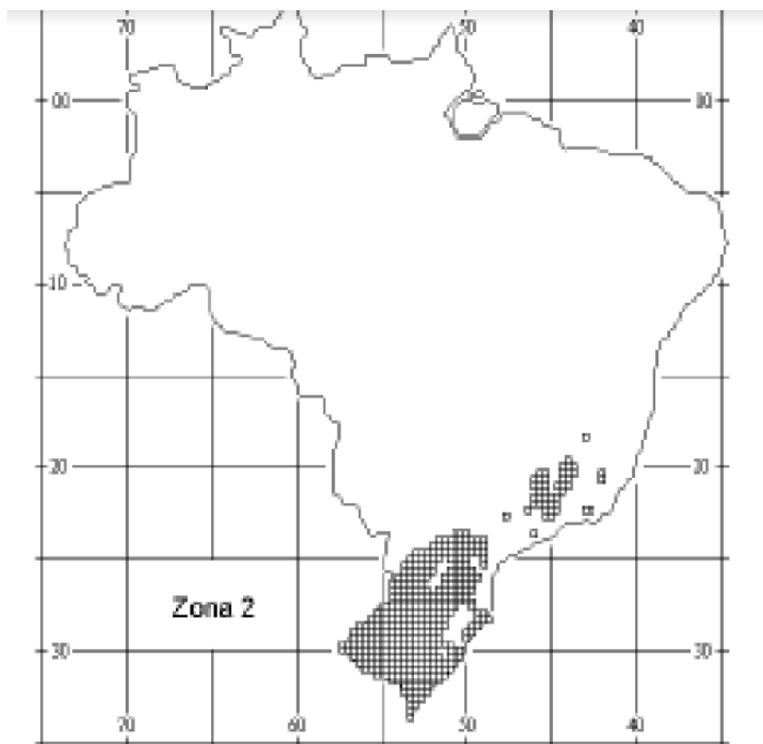


Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005, p. 3).

A norma estabelece alguns parâmetros como o tamanho das aberturas, proteção das aberturas, vedações externas e estratégias de condicionamento térmico passivo, para a elaboração de diretrizes construtivas para cada zona.

A região Sul do Brasil enquadra-se majoritariamente na Zona Bioclimática 2, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4 – Zona Bioclimática 2

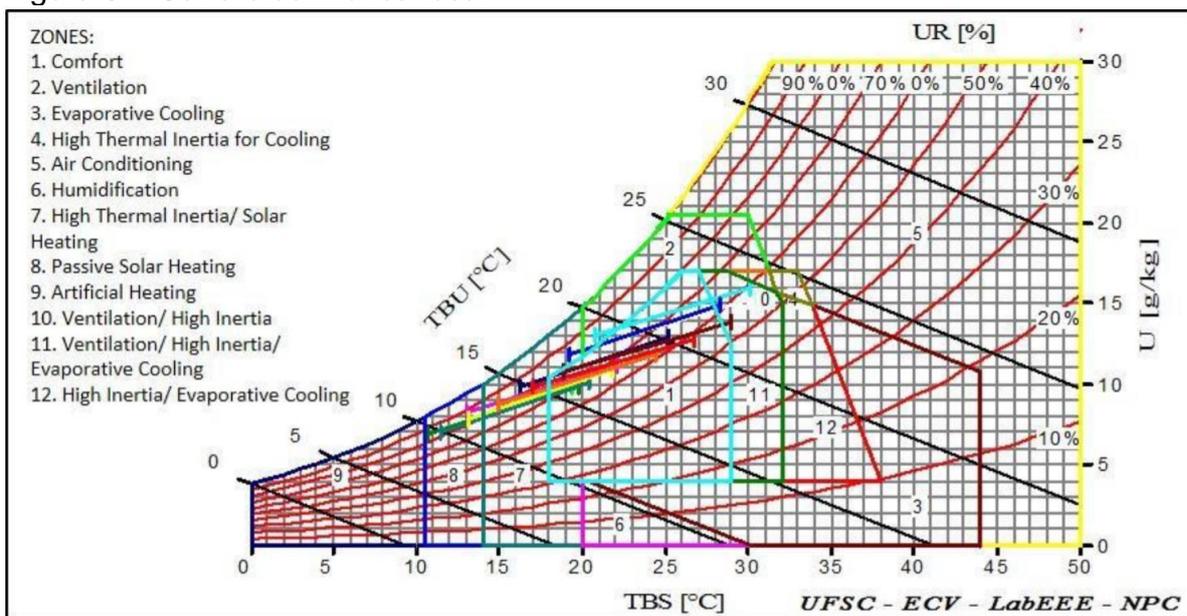


Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005, p. 3).

Algumas diretrizes construtivas que devem ser atendidas nesta zona, como as aberturas para ventilação e sombreamento, tipos de vedação externa e estratégias de condicionamento térmico passivo, são apresentadas na NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Dados estudados por Spinelli et al. (2017) referentes à zona bioclimática da região de Lajeado/RS, Brasil, local onde será realizado a presente pesquisa, são explicitados na Figura 5, na carta bioclimática local.

Figura 5 – Carta bioclimática local



Fonte: Spinelli et al. (2017, p. 156).

Através dos resultados obtidos com o estudo de Spinelli et al. (2017), constatou-se que a região de Lajeado não apresenta uma ventilação natural que favoreça o conforto térmico e a eficiência energética nas habitações, portanto, recomenda-se que sejam empregados isolamento térmico e sistemas de climatização/ventilação artificiais nas edificações.

## 2.4 Conforto térmico

O organismo humano tem uma temperatura média de 37 °C, e autorregula-se constantemente buscando manter esta temperatura de modo a reduzir ou aumentar as perdas de calor com o ambiente em que se encontra (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Segundo Lamberts (2014), o conceito de conforto térmico está relacionado à satisfação do indivíduo com o ambiente em seu entorno, quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente se equilibram, há então uma sensação de conforto. Frota e Schiffer (2003), afirmam que são muitos fatores que definem o conforto térmico, o que o torna um conceito bastante subjetivo e que pode variar de acordo com as condições de bem-estar de cada um, inclusive o clima da região em que o indivíduo está habituado a viver define se ele se sente confortável ou não em determinadas condições térmicas.

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), a definição de conforto térmico pode ser descrita como sendo a satisfação psicofisiológica de um indivíduo de acordo com as condições térmicas presentes no ambiente em que se encontra.

Há diversas variáveis que influenciam no conforto térmico do indivíduo dentro de um ambiente. A temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa e velocidade do ar, são classificadas como variáveis ambientais. Ainda, há a variável de atividade física a ser exercida no ambiente, que quanto mais alta for, maior será o calor gerado pelo corpo, e também a variável da vestimenta, na qual a resistência térmica do material da roupa influencia na troca de calor com o ambiente (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004).

Frota e Schiffer (2003) classificam os índices de conforto térmico em:

- a) índices biofísicos: relacionados à troca de calor entre o corpo e o ambiente;
- b) índices fisiológicos: relacionados às reações fisiológicas do indivíduo, que se originam através de condições de temperatura, umidade e velocidade do ar;
- c) índices subjetivos: baseiam-se em sensações de variação de elementos e de suas condições térmicas.

De acordo com Lamberts (2014), é importante realizar estudos acerca do conforto térmico, com ênfase nos seguintes fatores: satisfação, performance e conservação de energia. O principal objetivo é analisar e definir elementos necessários, para proporcionar um ambiente confortável de acordo com a sua ocupação, considerando que a eficiência do desempenho humano (rendimento) está relacionada com a sua satisfação (bem-estar), de modo em que seja possível evitar gastos de energia com climatização artificial do ambiente.

## **2.5 Propriedades térmicas**

Existem algumas propriedades térmicas que são fundamentais para a verificação do conforto térmico, as quais terão os seus conceitos básicos explicitados a seguir, a fim de que proporcionem melhor entendimento da pesquisa.

### 2.5.1 Transferência de calor

As trocas térmicas, se originam a partir de duas condições básicas: quando há corpos com diferença de temperatura ou mudanças no estado de agregação. A troca de calor entre os corpos com diferentes temperaturas, também denominada por “troca seca”, ocorre de forma que os corpos de temperatura mais elevada perdem calor e os mais frios recebem, e esse calor é chamado de calor sensível. Já as trocas por mudança de estado, ocorrem, por exemplo, com a água, quando esta passa do estado líquido para o vapor, e vice-versa, sem alteração de temperatura, há então o chamado calor latente (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Quando há diferença térmica entre duas regiões do espaço, essa diferença tem tendência automática a desaparecer através da troca de calor entre as regiões. Estas trocas de calor podem ocorrer através de três processos distintos, que são denominados por convecção, radiação e condução. A ocorrência destes processos admite que haja diferentes temperaturas entre duas regiões e que o fluxo térmico tende ao sentido das temperaturas decrescentes (COSTA, 2003).

De acordo com Incropera (2011), quando houver temperaturas diferentes em um meio ou entre meios, haverá transferência de calor. A Figura 6, ilustra os três processos de ocorrência de transferência de calor.

Figura 6 – Transmissão de calor por condução, convecção e radiação



Fonte: Incropera (2011, p. 2).

A condução consiste na transferência de calor entre corpos que se tocam, ou entre zonas do mesmo corpo com temperaturas diferentes, através de íntimo contato, e é ocasionada pelo movimento de moléculas dos mesmos sem que ocorra deslocamentos materiais no corpo ou no sistema. Este movimento molecular é que realiza a troca de energia, as moléculas de temperatura mais elevada cedem por

choque o calor para as moléculas de temperaturas mais baixas, o que ocasiona o fenômeno de condução (COSTA, 2003).

A convecção, de acordo com Frota e Schiffer (2003), se trata de uma troca de calor entre um corpo sólido e outro fluido. Para Costa (2003), a convecção é um fenômeno de transferência de calor de uma zona para outra de um fluido, causado pela movimentação relativa das partículas devido à diferença de pressão causada pelas diferentes temperaturas. O autor Creder (2009), define como sendo um fenômeno que transfere calor de um corpo para o outro através do fluido que os rodeia, e cita como exemplo prático um ambiente em que o fluido é o ar que transfere o calor.

A radiação, segundo Costa (2003), é definida como a transferência de calor entre dois corpos de diferentes temperaturas no mesmo meio que apresentam mais ou menos transparência em relação à radiação. Para Frota e Schiffer (2003), a radiação consiste na troca de calor através da capacidade dos corpos de absorver ou emitir energia térmica, de modo que a transferência se dá por ondas.

### **2.5.2 Condutividade térmica**

A condutividade térmica ( $\lambda$ ) é uma propriedade que depende da densidade de cada material, e determina a capacidade do mesmo na condução de determinada quantidade de calor por unidade de tempo. Quanto mais alto o valor de  $\lambda$ , mais alta será a quantidade de calor a ser transferida entre as superfícies, e automaticamente a sua resistência térmica será menor (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004).

Frota e Schiffer (2003), definem o coeficiente de condutividade térmica como o fluxo de calor passante por uma unidade de área de uma parede de espessura unitária, com dimensões grandes o suficiente de modo que o contorno não influencie, quando se estabelece uma diferença de temperatura unitária entre os parâmetros da respectiva parede.

De acordo com Incropera et al. (2011), a condutividade térmica do material consiste em uma propriedade de capacidade de transporte de energia e indica a taxa

em que a energia é transferida através do processo de difusão. Este coeficiente depende diretamente da densidade, da natureza química e da umidade da matéria.

### **2.5.3 Transmitância térmica**

A transmitância térmica é definida pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013), como a transferência de calor em unidade de tempo através de uma área unitária, que pode ser de um elemento ou componente construtivo.

Frota e Schiffer (2003), afirmam que a transmitância térmica consiste nas trocas térmicas superficiais, através da convecção e da radiação, assim como a troca térmica através do material, a qual ocorre por condução. Os parâmetros que influenciam no valor da transmitância térmica são a espessura da lâmina, a condutividade térmica do material, a posição (horizontal ou vertical) e o sentido do fluxo de calor.

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2004), a transmitância térmica ( $U$ ) é o inverso da resistência do somatório das camadas de um determinado fechamento. Os fechamentos podem ser opacos ou transparentes. Enquanto os transparentes transmitem radiação para o interior do ambiente, os opacos não possuem essa capacidade. Segundo o autor, calcular a transmitância térmica é uma etapa importante no estudo do desempenho térmico, pois pode-se avaliar o comportamento de determinado fechamento e realizar comparações entre diversas opções de materialidade de modo a verificar qual melhor se adequa ao projeto.

### **2.5.4 Resistência térmica**

A resistência térmica de um material é definida como a propriedade em resistir à transferência de calor. Portanto, quanto maior for a espessura de matéria e menor a sua condutividade térmica, haverá mais dificuldade de transmitir o calor, ou seja, haverá maior resistência térmica. Esta propriedade permite facilitar os cálculos que se referem à transmissão de calor em elementos formados por várias camadas, pois a resistência total do conjunto será o somatório da resistência parcial de cada camada, e inclui também as resistências internas e externas superficiais (COSTA, 2003).

Conforme a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), pode-se calcular a resistência térmica para materiais homogêneos ou heterogêneos, câmaras de ar com ventilação ou sem ventilação, de superfície a superfície ou de ambiente a ambiente. A norma define equações para efetuar o cálculo da resistência térmica de ambiente a ambiente e para componentes com câmara de ar ventilada. Para determinar a resistência térmica de superfície a superfície e de câmara sem ventilação, são apresentados valores em tabelas na respectiva norma.

### **2.5.5 Carga térmica**

A carga térmica pode ser definida como a quantidade de calor sensível e latente que se deve retirar ou inserir em algum ambiente, de modo que proporcione as desejáveis condições de conforto térmico para o usuário. A carga térmica pode ser regulada através de condução, insolação, dutos, pessoas, equipamentos, infiltração e ventilação (CREDER, 2009).

No inverno o ambiente precisa de carga térmica de aquecimento, que consiste na quantidade de calor requerido, para manter uma temperatura confortável no mesmo. Já no verão, a carga térmica é a quantidade de calor que precisa ser retirada do ambiente para proporcionar o conforto (COSTA, 2003).

### **2.5.6 Capacidade térmica e calor específico**

A capacidade térmica é definida por Creder (2009), como a quantidade necessária de calor para produzir um determinado aumento de temperatura em uma determinada massa. De acordo com Costa (2003), a capacidade térmica expressa a quantidade de calor requerida para aumentar a temperatura do corpo ou sistema em 1 °C, e depende da sua massa.

Denomina-se calor específico a capacidade térmica por unidade de massa e depende diretamente da natureza da composição do corpo. A capacidade térmica e o calor específico não são constantes, e variam de acordo com o intervalo de temperatura. A maioria dos valores de calor específico de substâncias, são tabelados com temperaturas e pressões fixadas (CREDER, 2009).

### 2.5.7 Atraso térmico

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), o atraso térmico ( $\phi$ ) é definido como sendo o tempo transcorrido entre uma variação de temperatura em um meio, e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo. Ou seja, é a diferença medida em horas, entre a temperatura máxima externa e a interna.

## 2.6 Sustentabilidade na construção civil

A sustentabilidade começou a ser abordada já faz muitos anos, evidentemente que com menos visibilidade do que possui agora. De acordo com Torgal e Jalali (2010), no ano de 1962, com a publicação do livro “Primavera Silenciosa”, já se abordava os efeitos negativos da utilização de pesticidas, mas foi com a Comissão Mundial do Ambiente e do Desenvolvimento, no ano de 1987 que surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável, através do relatório *Our common future*, também conhecido por relatório Bruntland, o qual define a sustentabilidade como algo que possa satisfazer as necessidades atuais sem prejudicar as próximas gerações.

Há muitas definições para o conceito de sustentabilidade, Ganhão (2011) compila alguns objetivos gerais de acordo com conferências internacionais que abordaram o tema, conforme abaixo:

- a) prezar pela diversidade e qualidade dos ecossistemas, de modo que não comprometa a sua capacidade de suporte à vida;
- b) utilizar os recursos naturais de forma eficiente, e procurar por fontes recicláveis;
- c) controlar a geração de resíduos e emissão de gases, de modo a minimizar a poluição;
- d) proporcionar à população a satisfação de suas necessidades de alimentação, educação, habitação, lazer e saúde, de forma que garanta uma melhora na qualidade de vida e igualdade social.

Na construção civil são consumidas em torno de 3000 Mt/ano de matérias-primas em todo o mundo, isso corresponde à um consumo maior do que qualquer outra atividade, além de todo consumo energético para a execução e posterior ocupação, esses fatores fazem com que a indústria construtiva seja um setor com práticas insustentáveis (TORGAL; JALALI, 2010).

A consciência sustentável tem aumentado no cenário construtivo em todo o mundo, percebe-se um crescimento em discussões de sustentabilidade na construção civil, por ser uma das indústrias que mais causam impactos ambientais. Entretanto, as ações para pôr em prática de fato os conceitos sustentáveis, ainda são de uma pequena ordem e quase desprezíveis (LOURENÇO, 2005).

A utilização de materiais ecológicos, que ao mesmo tempo sejam eficientes, é de grande importância para reduzir consideravelmente os impactos causados pela construção civil. De acordo com Giorgi (2016), o solo em estado natural é um material que pode ser uma alternativa dentro do contexto de desenvolvimento sustentável, por se tratar de um material com baixo custo de extração e de menor impacto em seu processo de produção.

Santos (2015), afirma que a utilização do solo cru em construções é uma técnica milenar, a qual teve uma considerável interrupção em seu uso e evolução, devido ao surgimento de novos materiais e técnicas construtivas, com destaque ao aço e ao cimento. Portanto, com o surgimento de tecnologias e processos de industrialização, a utilização do solo em estado natural como material construtivo passa a ser relacionada à precariedade de recursos tecnológicos.

## **2.7 Solo-cimento**

O solo-cimento é definido pela NBR 12023 como “um produto endurecido, resultante da cura de uma mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem” (ABNT, 2012, p. 1).

Torgal e Jalali (2010), identificam o bloco de solo-cimento como um material produzido sem queima, composto por solo cru prensado e estabilizado com cimento.

A NBR 10834 (ABNT, 2012) estabelece que a altura (H) deve ser maior ou igual à sua largura (L).

De acordo com Mercado apud Oliveira e Silva (2018), as proporções de cada material são determinadas por meio de dosagens controladas, de acordo com as características de cada um. Abiko (1980), afirma que o solo-cimento, em algumas situações, pode também ter aditivos empregados em sua mistura.

A estabilização de solos com cimento é uma das técnicas mais comumente utilizadas. Sua utilização é ampla na construção de estradas, mas também se aplica a outros usos, como, neste caso, ao bloco de solo-cimento. Ao ser aplicada esta técnica, a partir da hidratação do cimento e, conforme o teor deste material adicionado à mistura, haverá aumento da resistência e da capacidade de suporte, melhora no índice de retração volumétrica devido aos ciclos de umidade/secagem e mais durabilidade (INGLES; METCALF, 1972).

O bloco de solo-cimento, já é normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Algumas das normas são expostas no Quadro 1.

Quadro 1 – Normas da ABNT relacionadas aos blocos solo-cimento

<b>Norma</b>	<b>Título</b>	<b>Ano</b>
<b>NBR 8491</b>	Tijolo de solo-cimento — Requisitos	2012
<b>NBR 8492</b>	Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio	2012
<b>NBR 10833</b>	Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento	2013
<b>NBR10834</b>	Bloco de solo-cimento sem função estrutural – Requisitos	2012
<b>NBR 10836</b>	Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio	2013
<b>NBR 12023</b>	Solo-cimento - Ensaio de compactação	2012
<b>NBR 12024</b>	Solo-cimento - Moldagem e cura de corpo de provas cilíndricos – Procedimento	2012
<b>NBR 12025</b>	Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos - Método de ensaio	2012

Fonte: Giorgi (2016, p. 45) adaptado pela autora.

No que afirmam Torgal e Jalali (2010), atualmente existem três grupos de técnicas que utilizam o solo cru como matéria-prima para a construção, sendo denominadas por: monolítica, por unidades e por enchimento e revestimento. No que se refere aos blocos solo-cimento, o grupo em que se enquadra é o da técnica por unidades, que consiste na pré-fabricação de blocos comprimidos.

De acordo com a NBR 10834 (ABNT, 2012), há dois tipos de blocos de solo-cimento: maciços ou vazados. O bloco maciço apresenta volume total igual ou maior que 85% do volume aparente, porque pode apresentar algumas reentrâncias em uma das faces maiores. Já o bloco vazado, possui furos verticais e apresenta volume total menor do que 85% do volume aparente.

### **2.7.1 Breve histórico do solo como material de construção**

A utilização de solo em construções é uma técnica milenar, que povos antigos como babilônios, egípcios e persas a utilizavam desde obras simples até as mais grandiosas, inicialmente através do adobe. O adobe consiste em um bloco de terra úmida, moldado com fôrmas e seco naturalmente ao ambiente, e que pode ser considerado um dos materiais mais baratos para utilizar na construção. Foi introduzido no Brasil pelos colonizadores portugueses, mas é uma técnica que atualmente não é muito utilizada. O adobe passou a ser visto como um material voltado somente para classes de baixa renda, após surgirem materiais e técnicas mais modernos com a industrialização (MELO et al., 2011).

Apesar do uso do solo em construções ter diminuído ao surgirem novos materiais e técnicas, a sua utilização voltou a se tornar atrativa, frente à necessidade da busca por alternativas sustentáveis (SANTOS, 2015).

Martins (2011), afirma que há muitas técnicas construtivas no mundo que fazem uso do solo como matéria-prima, principalmente os blocos de adobe e taipas. Recentemente os blocos de solo-cimento também vêm destacando-se na utilização em construções. Segundo o autor, os blocos de solo-cimento podem ser considerados uma evolução dos blocos de adobe, pois são estabilizados com adição de cimento e sua compactação é feita através de prensa mecânica, e não prensado com as mãos

como o adobe. Em relação aos blocos de adobe, os de solo-cimento apresentam maior durabilidade e também são mais resistentes.

Segundo Abiko (1980), antes de aplicar o material em blocos, o solo-cimento teve sua primeira utilização registrada em 1915, nos Estados Unidos, com a adição do cimento em uma mistura com o solo arenoso e conchas marinhas para a pavimentação de uma estrada. Somente no ano de 1935, este tipo de material passou a ser estudado pela Portland Cement Association (PCA), a qual iniciou pesquisas acerca de tecnologias para a utilização do solo-cimento.

De acordo com Senço (1996), por volta da década de 1940 o solo-cimento passou a ser utilizado no Brasil, mais especificamente no estado de São Paulo. Foi devido ao grande aumento populacional da região e conseqüentemente ampliação de rodovias, que surgiu a necessidade da busca por materiais alternativos que suprissem a falta de matéria-prima para os materiais convencionais. Como o solo arenoso é abundante na região, passou a ser utilizado estabilizado com cimento Portland na construção de estradas.

Abiko (1980), relata que no Brasil a partir dos anos 1970, surgiram estudos relacionados ao uso do solo-cimento em habitações, sobretudo, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia (CEPED) e pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

## **2.7.2 Materiais**

Os materiais empregados na fabricação de blocos de solo-cimento, devem atender a alguns requisitos mínimos estabelecidos por normas, os quais serão explicitados nos itens a seguir.

### **2.7.2.1 Solo**

Por ser um material abundante e de fácil obtenção, além de apresentar um baixo custo de extração, o solo se torna um material de construção bastante

apropriado para diversas aplicações, por isso está entre um dos materiais de construção mais antigos do mundo (ABIKO, 1980).

No solo-cimento, o material com proporção dominante na mistura é o solo. A utilização do solo como material construtivo, deve ser bem estudada para que não ocorram problemas, considerando que o mesmo é um material muito heterogêneo e complexo, devido aos diversos fatores variantes que determinam a sua formação natural (GRANDE, 2003).

A granulometria do solo influencia diretamente na quantidade de cimento que será utilizado na mistura. Quanto melhor for a distribuição granulométrica do solo, menor será a sua porosidade, o que resulta em uma menor quantidade de cimento necessária na mistura para atingir determinada resistência. Há possibilidade de corrigir a granulometria de um solo arenoso com adição de outro tipo de solo que contenha mais finos em sua composição, como siltes e argilas, para proporcionar coesão adequada para a moldagem dos blocos (MILANI, 2005).

Ainda no que se refere à granulometria, é definido nos requisitos gerais da NBR 10833 (ABNT, 2012) que 100% do solo deve passar na peneira de malha com abertura de 4,75mm, e que 10% a 50% do material deve passar na peneira com abertura de 0,075mm. Giorgi (2016), ainda afirma que o ideal é que a granulometria contenha 10% a 20% de argila, 10% a 20% de silte e 50% a 70% de areia.

Segundo a NBR 10833 (ABNT, 2012), o solo a ser utilizado na fabricação de solo-cimento não deve conter matéria orgânica em sua composição em uma quantidade que possa prejudicar a hidratação do cimento. Deve-se realizar a caracterização do solo de acordo com as normas NBR 6457 (ABNT, 2016), NBR 6459 (ABNT, 2016), NBR 7180 (ABNT, 2016) e NBR 7181 (ABNT, 2016), que são específicas para os procedimentos de caracterização.

De acordo com Milani (2005), solos que apresentam índice de plasticidade e limite de liquidez com valores elevados se tornam mais difíceis de serem estabilizados, entretanto é necessário ter certa plasticidade no material para que o mesmo tenha coesão o suficiente para ser manuseado na fabricação de elementos construtivos. A NBR 10833 (ABNT, 2012), define que o limite de liquidez máximo do solo a ser utilizado na mistura é de 45%, e o índice de plasticidade máximo admissível é de 18%.

### **2.7.2.2 Cimento**

O cimento Portland, é definido pela NBR 16697 (ABNT, p. 2, 2018) como sendo um “ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais nos teores estabelecidos”.

O cimento tem a função de estabilizar o solo, neste processo ocorre a hidratação de silicatos e aluminatos do cimento, que formam uma espécie de gel o qual preenche os vazios do solo e une os grãos, o que proporciona um ganho de resistência inicial. Também no processo de estabilização, ocorrem reações iônicas entre cátions dos argilominerais presentes no solo e íons de cálcio originados da hidratação do cimento, estas reações tornam o material mais granular e garantem que ele resista melhor à variação de umidade, de modo a diminuir a sua variação de volume (MILANI, 2005).

Além destas modificações iniciais, Abiko (1980) afirma que, no decorrer do tempo, são formados compostos cimentantes que ocasionam a melhora em algumas propriedades como a resistência, durabilidade e mantém certa estabilidade na variação volumétrica dos elementos.

### **2.7.2.3 Água**

De acordo com Abiko (1980), quando adicionada certa quantidade de água na mistura, é conferida a plasticidade ao material.

A água utilizada na mistura para a fabricação de solo cimento, segundo a NBR 10833 (ABNT, 2012) não deve conter nenhuma impureza que seja nociva ao processo de hidratação do cimento.

Segundo a NBR 12024 (ABNT, 2012), após a mistura do solo com o cimento, deve-se adicionar água em quantidade suficiente para atingir a umidade ótima, esta que é definida pela NBR 12023 (ABNT, 2012) como o valor que corresponde, na curva de compactação, à massa específica aparente seca máxima e também de modo a homogeneizar a mistura de forma úmida.

O teor de umidade na mistura tem tanta importância, quanto o teor de cimento. No estudo de Grande (2003), foi constatado que para misturas com teor de água menor que o ótimo, os resultados indicaram que parte do cimento assume comportamento de material inerte.

#### **2.7.2.4 Adições**

A NBR 10833 (ABNT, 2012), afirma que é possível a utilização de aditivos e até mesmo pigmentos, que estejam de acordo com a NBR 11768 (ABNT, 2019), de modo que estes não prejudiquem os requisitos físico-mecânicos que o material deve atender conforme exigem as normas NBR 8491 (ABNT, 2012) e NBR 10834 (ABNT, 2012).

Quanto às adições, diversos autores utilizaram variados materiais para que de alguma forma estes melhorem as propriedades físicas ou mecânicas do material solo-cimento. Como exemplo, pode-se citar o estudo de Milani (2005), no qual foi adicionada cinza de casca de arroz na mistura de diversas amostras, em teores diferentes. A amostra com solo arenoso + 12% da combinação (80% cimento e 20% cinza de casca de arroz) atingiu resistência média de 2,43 MPa, que atende os requisitos mínimos de resistência à compressão de acordo com a norma, que exige no mínimo 2,0 MPa.

Na pesquisa de Grande (2003), foi adicionada sílica ativa na mistura, e concluiu-se que esta adição foi positiva, pois garante que o material ao longo do tempo melhore as suas propriedades. O autor verificou que os blocos executados com sílica ativa, tiveram uma aceleração na reação pozolânica.

#### **2.3.7 Dosagem e processo de fabricação do solo-cimento**

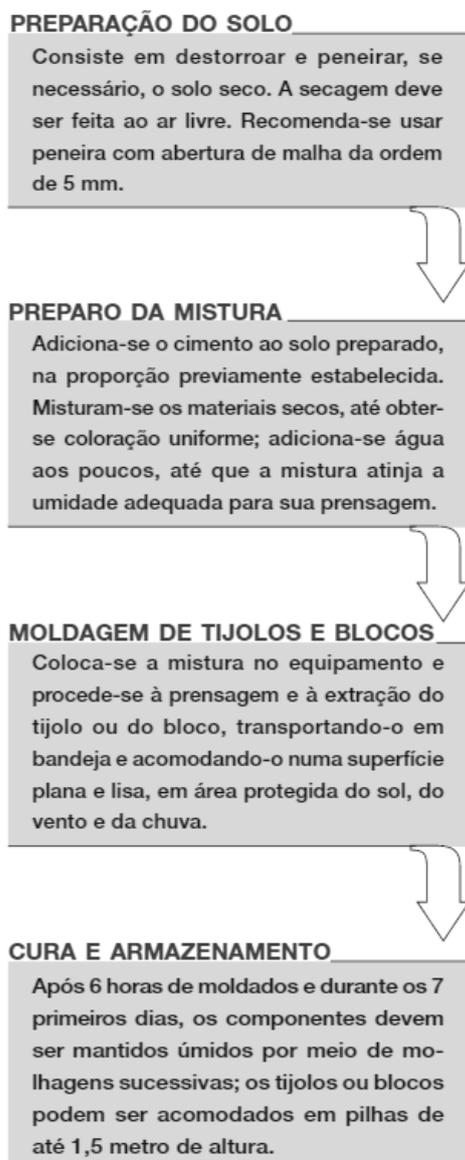
De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2004), a quantidade de cimento, a quantidade de água e a massa específica aparente seca atingida após a compactação, variam de acordo com as características do solo a ser utilizado.

A dosagem consiste em uma sequência de ensaios a partir da mistura de solo, cimento e água, e posterior análise dos resultados através de critérios estabelecidos previamente. O objetivo principal da dosagem é a determinação da quantidade de cimento, os dados como a umidade ótima e a massa específica aparente seca máxima são fornecidos apenas como dados indicativos (ABCP, 2004).

A Norma Geral de Dosagem de Solo-cimento (ABCP, 2004), define algumas etapas para a realização da dosagem do material. A primeira etapa consiste na identificação e classificação do solo, após é feita a escolha do teor de cimento para realizar o ensaio de compactação, depois é escolhido o teor de cimento para o ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. Com a realização dos ensaios é escolhido o teor de cimento com a menor quantidade necessária para atender os requisitos de resistência mínima estabelecidos pela norma, estes que variam de acordo com a porcentagem de silte e argila do material.

Com a determinação da dosagem, pode-se então preparar a mistura para a fabricação dos blocos. De modo sucinto, o processo para a fabricação do material pode ser descrito conforme Figura 3.

Figura 7 – Etapas para a fabricação de blocos de solo-cimento



Fonte: Neves, Carneiro e Costa (2001, p. 237).

### 2.7.3 Vantagens e desvantagens

De acordo com Melo et al. (2011), as vantagens de utilizar blocos de solo-cimento surgem já em sua fabricação. Os equipamentos necessários para a produção desses blocos são de baixo custo, e é possível também que a produção seja feita no local da obra, o que colabora na economia com a redução de custos de transporte. O mesmo autor, afirma que a técnica para a produção e a utilização dos blocos não é de grande complexidade, o que não requer grandes investimentos em qualificação da mão de obra.

O emprego do solo-cimento em construções de habitação, pode gerar uma economia de até 40% no custo final da obra. O principal fator desta economia é o solo, por ser o material com maior predominância e ter um baixo custo, além da economia com transporte e energia, pois pode ser fabricado no canteiro de obra por profissionais que não necessitam ter um alto grau de conhecimento para o executarem, o que conseqüentemente também resulta em uma economia em mão de obra. (FERRAZ; SEGANTINI, 2004).

Abiko (1980), afirma que algumas das vantagens de se aplicar cimento ao solo consistem na diminuição da variação volumétrica quando há absorção ou perda de água, a não-deterioração quando submerso em água e também uma resistência à compressão muito semelhante ao do bloco de barro cozido.

Segundo Abiko (1980), apenas os solos orgânicos não podem ser utilizados para a fabricação de solo-cimento, todos os restantes podem ser usados. Entretanto, é necessário avaliar o tipo de solo para adicionar maior ou menor quantidade de cimento na mistura de modo a obter bons resultados. Por isso, além de uma avaliação técnica, é preciso realizar um estudo de viabilidade econômica, pois se o solo necessitar do emprego de muito cimento ou aditivos, ele deixa de ser vantajoso devido à elevação do seu custo de produção.

Giorgi et al. (2018), afirma que há também, vantagem expressa na redução de resíduos gerados na construção, e, por ser um material com sua matéria-prima predominantemente natural, ao final da sua vida útil, quando descartado, terá mais facilidade de incorporação ao ambiente.

Torgal e Jalali (2010), também reforçam que os equipamentos necessários para a produção de blocos de solo-cimento são simples e não apresentam custos elevados, fator este que colabora para o desenvolvimento da autoconstrução. Entretanto, destacam a importância de um adequado controle técnico na dosagem de materiais, umidade, compactação e cura.

Para Grande (2003), as vantagens de utilização de blocos de solo-cimento também se manifestam no controle de perdas, uma vez que a alvenaria modular reduz os desperdícios de material. Por ser modular, considera-se que são eficientes no momento da construção, pois os blocos são somente encaixados e quando são

assentados requerem pouca quantidade de argamassa, o que agiliza o andamento da obra, e ainda podem ser fabricados com furos internos que possibilitam a passagem de tubulações sem que seja preciso cortar ou quebrar os blocos.

Ponte (2012), expõe que, devido à variação das propriedades dos solos em cada local, é de extrema importância realizar avaliações do material através de ensaios, para analisar se suas características são adequadas para proporcionar um bom desempenho. A utilização de solos que não apresentam propriedades adequadas, pode não resultar no desempenho esperado, e é isso que muitas vezes cria a imagem de que é um material de baixa qualidade.

De acordo com Giorgi (2016), há muitas pesquisas de desempenho de alvenarias convencionais de tijolos cerâmicos cozidos e blocos de concreto, mas os blocos de solo-cimento ainda não são amplamente explorados e ainda deve-se buscar desenvolver estudos para comprovar a sua eficiência enquanto material de construção e ter uma melhor aceitação cultural. Para isso, é necessário conhecer as propriedades dos componentes (solo, cimento, água e possíveis adições), e comprovar o seu desempenho frente à estanqueidade e variação de temperatura, que são os principais fatores que causam certo preconceito na utilização deste tipo de bloco, pois muitos acreditam que o material não resiste às ações da água e temperatura.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo são abordados os métodos e materiais utilizados na elaboração da pesquisa referente ao desempenho térmico de blocos de solo-cimento, de forma que os objetivos previamente estabelecidos no presente trabalho sejam alcançados.

A partir do embasamento teórico, pôde-se traçar a fase experimental do estudo, a qual será descrita a seguir.

### **3.1 Tipo de pesquisa**

O presente trabalho caracteriza-se por ser uma pesquisa exploratória, segundo Gil (2006), este tipo de pesquisa pode englobar revisão bibliográfica, entrevistas, testes, escalas, questionários, análises de exemplos, e a partir dos dados coletados elaboram-se sugestões de melhoria acerca do tema da pesquisa. Em geral, este tipo de pesquisa é apresentado como uma pesquisa bibliográfica ou até mesmo estudo de caso e não se considera como definitivos os seus resultados.

### **3.2 Blocos de solo-cimento - Requisitos**

Os blocos de solo-cimento utilizados nesta pesquisa foram adquiridos de uma empresa que os fabrica e comercializa, localizada no município de Bom Retiro do Sul/RS. A empresa não concedeu acesso ao processo de fabricação do material, tampouco à dosagem do material, portanto, os mesmos não foram abordados minuciosamente neste trabalho.

O material é apresentado pela empresa como “Tijolo Ecológico Modular”, e está disponível nas dimensões de 15 cm x 30 cm x 08 cm ou 15 cm x 30 cm x 12 cm e apresenta dois furos com diâmetro de 8 cm. No website da empresa, o bloco é descrito como um material originado de uma mistura de solo arenoso, com água e cimento. O fabricante acrescenta que, é possível acrescentar na mistura, pó de resíduos oriundos da construção civil (caliça), ou até mesmo outros tipos de solo conforme a região.

Figura 8 – Bloco de solo-cimento vazado



Fonte: Da autora (2019).

Segundo a NBR 10834 (ABNT, 2013), o fabricante deve identificar cada lote de acordo com a procedência dos mesmos e garantir os aspectos físicos requeridos pela norma para o material. É especificado que, o bloco deve possuir arestas vivas, ou chanfradas, e não deve conter fissuras, fraturas ou qualquer outro defeito que prejudique o assentamento do mesmo, bem como a sua durabilidade e resistência.

Ao receber os blocos, foi realizada análise dimensional de modo a verificar as dimensões nominais que são normatizadas através da NBR 10834 (ABNT, 2013). A norma estabelece que as dimensões padrão são de 300 mm de comprimento, 150 mm de largura e 150 mm de altura, entretanto ressalta que podem haver variações nestas medidas desde que respeitem que a altura (H) permaneça igual ou superior à

largura (L). Neste trabalho, foram utilizados os blocos com dimensões de 300 x 150 x 80 mm para comprimento, largura e altura, respectivamente.

Realizou-se o ensaio de resistência à compressão simples, de modo a verificar se o material atende os requisitos da NBR 10836 (ABNT, 2013). Segundo a norma, com idade mínima de sete dias, o material deve apresentar valores médios de resistência à compressão de, no mínimo, 2,0 MPa, e para valores individuais de resistência o mínimo a ser atingido é de 1,7 Mpa.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Tecnologia das Construções (LATEC) da Universidade do Vale do Taquari – Univates, e o mesmo é detalhado no item 4.3 da NBR 10836 (ABNT, 2013), a qual estabelece que deve-se preparar sete corpos de prova (blocos) de cada lote e submetê-los à aplicação de carga uniforme e à razão de 50 kgf/s, com aumento gradativo até ocorrer a ruptura do elemento, através da utilização de máquina de ensaio à compressão.

### **3.3 Protótipos**

A partir das análises dos requisitos gerais dos blocos de solo-cimento como elementos construtivos, foram executados dois modelos de protótipos em escala reduzida, sem sistema de vedação natural, que utilizaram os blocos expostos no item 3.2, como alvenaria de vedação. Foram adotadas as dimensões de 75 x 75 x 72 cm para os protótipos com blocos de solo-cimento.

Os protótipos foram construídos em frente ao Prédio 17 da Universidade do Vale do Taquari – Univates, na cidade de Lajeado/RS, especificamente nas coordenadas latitude 29°26'55.25"S e longitude 51°56'42.19"O, conforme localização do ponto C na Figura 9. Os pontos A e B representam o Prédio 16 e o Prédio 17, respectivamente.

Figura 9 – Localização dos protótipos



Fonte: Google Earth adaptado pela autora (2019).

No local foram mantidos dois outros protótipos já existentes, com dimensões de 60 x 60 x 64 cm, que foram utilizados em outra pesquisa, para que fosse possível realizar uma comparação entre edificações construídas a partir de blocos de solo-cimento com as de alvenaria convencional.

A estrutura em comum dos protótipos já existentes, consiste em laje inferior e superior de concreto, que apresentam dimensões de 80 x 80 x 5 cm, tijolos cerâmicos maciços de dimensões 23 x 11 x 7 cm, para alvenaria de vedação e como fechamento da cobertura telha do tipo sanduíche com 3 cm de espessura. Para o assentamento dos blocos, foi utilizada argamassa de assentamento com aproximadamente 1 cm de espessura. A única diferença entre os dois protótipos é que no Protótipo I (Figura 10) manteve-se o tijolo aparente e no Protótipo II (Figura 11) aplicou-se uma camada de revestimento de reboco de aproximadamente 2 cm.

Figura 10 – Fachada norte do Protótipo I



Fonte: Da autora (2019).

Figura 11 – Fachada norte do Protótipo II



Fonte: Da autora (2019).

Para os protótipos executados com os blocos de solo-cimento, manteve-se a mesma estrutura de lajes e telha dos protótipos I e II, e não se aplicou argamassa de assentamento, apenas uma fina camada de cimento-cola para fixa-los. O Protótipo III (Figura 12) foi rebocado com uma camada de aproximadamente 2 cm, e o Protótipo IV (Figura 13) foi mantido com os blocos aparentes.

Figura 12 – Fachada norte do Protótipo III



Fonte: Da autora (2019).

Figura 13 – Fachada norte do Protótipo IV



Fonte: Da autora (2019).

### 3.3.1 Materiais para execução dos protótipos

De modo a seguir os mesmos parâmetros utilizados nos protótipos já existentes, os traços de concreto para as lajes e da argamassa de reboco foram realizados conforme o exposto por Zambiasi (2018) em sua pesquisa. O traço do concreto consiste em 1:3:2 (cimento CP V-ARI : areia média : brita zero) e o da argamassa em 1:2:5 (cimento CP IV : cal do tipo hidráulica : areia média), ambos

foram executados *in loco*. As telhas para os protótipos III e IV também foram mantidas iguais as dos protótipos I e II, tipo sanduíche de poliuretano com 3 cm de espessura.

Os blocos de solo-cimento para a alvenaria de vedação foram do tipo vazado com dimensões de 30 x 15 x 8 cm e com diâmetro interno dos furos de 8 cm. Devido aos blocos serem um sistema modular (de encaixe), dispensou-se a utilização de argamassa de assentamento, apenas utilizou-se cimento cola para fixar os blocos e selar as juntas.

### 3.4 Coleta de dados com sensores

A coleta de dados de temperaturas externa e interna dos protótipos foi realizada através do uso do equipamento FieldLogger modelo 512k, conforme a Figura 14, e com sensores PT100 de acordo com a Figura 14.

Figura 14 – FieldLogger



Fonte: Da autora (2019).

Os sensores (Figura 15) foram colocados no interior dos protótipos, de modo que transmitiram os dados coletados de temperatura para o equipamento FieldLogger. O equipamento registrou e armazenou os dados de hora em hora, os quais posteriormente foram transmitidos a um computador com o software para leitura previamente instalado.

Figura 15 – Sensor PT 100



Fonte: Spinelli (2015, p. 41).

Os dados de radiação solar do local, foram utilizados a partir da disponibilização dos registros realizados pelo Núcleo de Informações Hidrometeorológicas (NIH) da Universidade do Vale do Taquari - Univates.

### **3.5 Determinação da transmitância térmica**

Inicialmente é necessário determinar a condutividade térmica dos materiais e calcular a resistência térmica total do elemento, para então poder calcular a transmitância térmica.

Os valores de condutividade térmica, foram obtidos através de consulta de bibliografias e catálogos. Para o tijolo cerâmico, a laje de concreto e a argamassa, foram obtidos os valores através da NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Para a telha, foi adotado o valor de condutividade térmica disponibilizado no catálogo de produtos da empresa Ananda Metais (2019). A camada de cimento-cola não foi considerada para fins de cálculo, por apresentar espessura desprezível. Já para os blocos de solo-cimento, o valor da condutividade térmica a ser utilizado foi de acordo com exposto em bibliografia por Marques, Castro e Isaac (2009), é importante ressaltar que este valor varia de acordo com o teor dos materiais utilizados na mistura e de suas características específicas (tipo de solo, tipo de cimento, etc.), como se desconhece a dosagem do material utilizado nesta pesquisa, adotou-se um valor para solo arenoso

de forma genérica. Na Tabela 1 são apresentados os valores de condutividade térmica dos respectivos materiais.

Tabela 1 – Condutividade térmica dos materiais.

<b>Material</b>	<b><math>\lambda</math> (W/m.K)</b>
Argamassa	1,15
Laje maciça de concreto	1,75
Tijolo maciço	0,90
Telha sanduíche de poliuretano	0,0186
Bloco de solo-cimento	0,38

Fonte: Autora (2019).

Definidos os valores de condutividade térmica, pode-se calcular resistência térmica total do elemento, para a parede e para a cobertura. De acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), o cálculo consiste na soma de resistência térmica de superfície a superfície com a resistência superficial interna e externa, conforme a Equação 1. Os valores de resistência térmica superficial interna e externa são determinados através de valores médios expostos na Tabela 2, conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (1)$$

Onde:

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

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

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

Tabela 2 – Resistência superficial interna e resistência superficial externa.

$R_{si}$ (m <sup>2</sup> .K)/W			$R_{se}$ (m <sup>2</sup> .K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
					
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT (2005, p. 10).

De acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), para a resistência térmica das paredes maciças, utiliza-se a equação da resistência térmica de um componente de camadas homogêneas e não homogêneas, de superfície a superfície (EQUAÇÃO 2).

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (2)$$

Onde:

$A_a, A_b, \dots, A_n$  = áreas de cada seção (m<sup>2</sup>);

$R_a, R_b, \dots, R_n$  = resistência térmica de superfície à superfície de cada seção, que consiste na divisão da espessura pela condutividade térmica do material (m<sup>2</sup>.K/W).

No cálculo da resistência térmica da cobertura e das paredes com blocos vazados, adota-se a Equação 3, que se refere a um componente com camadas homogêneas, de superfície a superfície. A resistência térmica da camada de ar é obtida de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2013), conforme a Tabela 3.

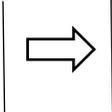
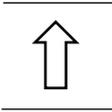
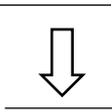
$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_n + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn} \quad (3)$$

Onde:

$R_{t1}, R_{t2}, \dots, R_{tn}$  = resistência térmica das “n” camadas homogêneas (m<sup>2</sup>.K/W);

$R_{ar1}, R_{ar2}, \dots, R_{arn}$  = resistência térmica das “n” camadas de ar não ventiladas (m<sup>2</sup>.K/W);

Tabela 3 – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas.

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

Fonte: ABNT (2005, p. 11).

Com a obtenção dos valores de resistência térmica total, pode-se então calcular a transmitância térmica (EQUAÇÃO 4), que consiste no inverso da resistência térmica total de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005).

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

Onde:

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

Após obtenção de todos os resultados, estes foram comparados com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), de modo a verificar se estão dentro do limite de valores máximos estabelecidos para transmitância térmica de paredes externas e cobertura para a Zona Bioclimática 2, os quais encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Transmitância térmica máxima por zona.

Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> K)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α ≤ 0,6	α ≤ 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

Fonte: ABNT (2005, p. 27).

### 3.6 Carga térmica e simulação de eficiência energética

Determinou-se a carga térmica a partir da soma do fluxo de calor de cada parede e da cobertura, o qual é obtido através da Equação 5, de Lamberts, Dutra e Pereira (2004, p. 218).

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

Onde:

U = transmitância térmica (m<sup>2</sup>.K/W);

α = absorvidade da superfície externa do fechamento;

I = radiação solar (W/m<sup>2</sup>);

R<sub>se</sub> = resistência térmica superficial externa (m<sup>2</sup>.K/W);

T<sub>ext</sub> = temperatura externa (°C);

T<sub>int</sub> = temperatura interna (°C);

A = área do fechamento em questão (m<sup>2</sup>).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos no estudo, através de ensaio, coleta de dados e de cálculos realizados, bem como a discussão sobre os mesmos.

### 4.1 Verificação da resistência à compressão

Sete blocos de solo-cimento foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, para verificar se são aptos ao uso, conforme descrito no item 3.2. Neste caso, desconhecia-se a idade de cura dos blocos, sabia-se apenas que era superior a 7 dias. Todos atingiram o valor mínimo exigido pela NBR 10836 (ABNT, 2013), que é de 2,0 MPa para o valor de resistência média, e de 1,7 MPa para resistência individual de cada bloco. Os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 5. A resistência média atingiu o valor de 2,2 MPa.

Tabela 5 – Resistência à compressão simples dos blocos de solo-cimento

<b>Corpo de prova</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>
CP01	2,35
CP02	2,20
CP03	2,25
CP04	2,29
CP05	2,42
CP06	2,19
CP07	2,10

Fonte: Da autora (2019).

## 4.2 Transmitância térmica

Neste subcapítulo serão expostos os resultados que foram obtidos para a transmitância térmica de cada protótipo. Os valores para a condutividade térmica utilizados nos cálculos encontram-se na Tabela 1, apresentada anteriormente.

Como a cobertura é idêntica nos quatro protótipos, e resulta os mesmos valores para todos eles, será apresentado o seu cálculo somente no item 4.2.1.

### 4.2.1 Protótipo I – Tijolo maciço convencional sem revestimento

Este protótipo é composto por tijolos cerâmicos maciços, com dimensões de 23 x 11 x 7 cm, argamassa de assentamento, com 1 cm de espessura, lajes inferior e superior de concreto, com espessura de 5 cm, e telha sanduíche de poliuretano, com 3 cm de espessura. Não apresenta revestimento em suas fachadas.

Na Tabela 6, estão listados os materiais com sua respectiva espessura e valor de condutividade térmica ( $\lambda$ ), utilizados para o cálculo da transmitância térmica das paredes e cobertura.

Tabela 6 – Dados do Protótipo I para a transmitância térmica

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

Fonte: Da autora (2019).

Para a determinação da resistência térmica da parede, inicialmente calculou-se a área das seções de argamassa e tijolo. Também foi calculada a resistência de

superfície a superfície para cada seção, que consiste na divisão da espessura pela condutividade térmica. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Área e resistência de superfície a superfície para cada seção

	Área das seções ( $A_n$ ) ( $m^2$ )	Resistência de superfície a superfície para cada seção ( $R_n$ ) ( $m^2.K/W$ )
<b>Argamassa</b>	0,0037	0,0957
<b>Tijolo maciço</b>	0,0161	0,1222

Fonte: Da autora (2019).

Utilizando a Equação 1 (item 3.5), e aplicando os valores da Tabela 7 na mesma, obteve-se o valor de 0,1162  $m^2.K/W$  para a resistência térmica ( $R_t$ ) da parede.

Para o cálculo da  $R_t$  da cobertura, adotou-se o valor de resistência térmica da camada de ar ( $R_{ar}$ ) conforme a Tabela 3, e calculou-se a resistência térmica da camada homogênea ( $R_n$ ) para cada material, que consiste na divisão da espessura pela condutividade térmica do material. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Resistência térmica da cobertura e da camada de ar para todos os protótipos.

	Resistência térmica da camada homogênea ( $R_n$ ) ( $m^2.K/W$ )	Resistência térmica da camada de ar ( $R_{ar}$ ) ( $m^2.K/W$ )
<b>Telha sanduíche</b>	1,6129	0,21
<b>Laje maciça de concreto</b>	0,0286	

Fonte: Da autora (2019).

A partir dos dados da Tabela 8, aplicou-se a Equação 2 (item 3.5), e obteve-se o resultado de 1,8515  $m^2.K/W$  para a  $R_t$  da cobertura.

Com os valores de  $R_t$  para a parede e cobertura calculados, e com os valores de resistência térmica superficial externa ( $R_{se}$ ) e interna ( $R_{si}$ ), obtidos de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), pode-se calcular a resistência térmica total ( $R_T$ ) conforme a Equação 3 (item 3.5).

Tabela 9 – Valores utilizados para determinação da resistência térmica total do Protótipo I

	$R_{se}$ (m <sup>2</sup> .K/W)	$R_{si}$ (m <sup>2</sup> .K/W)	$R_t$ (m <sup>2</sup> .K/W)
<b>Paredes</b>	0,04	0,13	0,1162
<b>Cobertura</b>	0,04	0,17	1,8515

Fonte: Da autora (2019).

Calculou-se transmitância térmica da parede e da cobertura, conforme a Equação (item 3.5), e os resultados estão expostos na Tabela 10.

Tabela 10 - Resistência térmica total e transmitância térmica do Protótipo I

	$R_T$ (m <sup>2</sup> .K/W)	$U$ (W/m <sup>2</sup> .K)
<b>Paredes</b>	0,2862	3,494
<b>Cobertura</b>	2,0615	0,485

Fonte: Da autora (2019).

A partir dos resultados obtidos para a transmitância térmica das paredes e da cobertura, fez-se uma análise de acordo com as definições NBR 15575 (ABNT, 2013), a qual estabelece valores máximos admissíveis para cada zona bioclimática, os quais foram expostos anteriormente na Tabela 4.

As paredes ultrapassam o valor de transmitância definido pela norma, a qual determina que para a Zona Bioclimática 2, é admitido um valor de até 2,5 W/m<sup>2</sup>.K. Já a cobertura, apresenta um valor admissível para esta zona.

#### 4.2.2 Protótipo II – Tijolo maciço convencional com revestimento

Para o Protótipo II, o método de cálculo é semelhante ao utilizado para o Protótipo I, sendo necessário apenas acrescentar a camada de revestimento de reboco na parte externa, com 2 cm de espessura. Na Tabela 11, são apresentados os materiais com sua respectiva espessura e valor adotado para condutividade térmica.

Tabela 11 – Espessura e condutividade térmica dos materiais do Protótipo II

<b>Material</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/m.K)</b>
Tijolo maciço (comprimento)	0,23	0,90
Tijolo maciço (largura)	0,11	0,90
Tijolo maciço (altura)	0,07	0,90
Argamassa (vertical)	0,01	1,15
Argamassa (horizontal)	0,11	1,15
Reboco	0,02	1,15

Fonte: Da autora (2019).

Para o Protótipo II, a área das seções ( $A_n$ ) permanece igual ao Protótipo I. Já na resistência de superfície a superfície para cada seção, deve-se somar a espessura de reboco dividida pela sua condutividade térmica, tanto na argamassa quanto no tijolo maciço,

Tabela 12 - Área e resistência de superfície a superfície para cada seção para o Protótipo II

	<b>Área das seções (<math>A_n</math>) (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistência de superfície a superfície para cada seção (<math>R_n</math>) (m<sup>2</sup>.K/W)</b>
<b>Argamassa</b>	0,0037	0,1130
<b>Tijolo maciço</b>	0,0161	0,1396

Fonte: Da autora (2019).

Com os valores da Tabela 12 aplicados na Equação 1, a resistência térmica ( $R_t$ ) da parede resultou em 0,1337 m<sup>2</sup>.K/W. A seguir, pode-se calcular a resistência térmica total ( $R_T$ ), conforme a Equação 3. Os valores de resistência térmica  $R_{se}$  e  $R_{si}$ , são obtidos de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005).

Tabela 13 – Valores utilizados para determinação da resistência térmica total do Protótipo II

$R_{se}$ (m <sup>2</sup> .K/W)	$R_{si}$ (m <sup>2</sup> .K/W)	$R_t$ (m <sup>2</sup> .K/W)
0,04	0,13	0,1337

Fonte: Da autora (2019).

A partir da obtenção do valor de  $R_T$ , calculou-se transmitância térmica da parede, conforme a Equação 4, e os resultados estão expostos na Tabela 14.

Tabela 14 - Resistência térmica total e transmitância térmica do Protótipo II

$R_T$ (m <sup>2</sup> .K/W)	$U$ (W/m <sup>2</sup> .K)
0,3037	3,2923

Fonte: Da autora (2019).

O resultado de transmitância térmica para as paredes do Protótipo II, também é maior que o valor máximo de 2,5 W/m<sup>2</sup>.K definido pela NBR 15575 (ABNT, 2013) para a Zona Bioclimática 2.

#### 4.2.3 Protótipo III – Bloco de solo-cimento com revestimento

Este protótipo foi executado com blocos vazados de solo-cimento, com dimensões de 30 x 15 x 8 cm e dois furos com diâmetro de 8 cm, lajes inferior e superior de concreto, com espessura de 5 cm, e telha sanduíche de poliuretano, com 3 cm de espessura. Foi aplicada uma camada de 2cm de reboco como revestimento em suas fachadas. Não foi aplicada argamassa de assentamento, e para fins de cálculos, será desprezada camada de cimento cola utilizada para fixar os blocos, devido a sua espessura muito fina.

Os materiais com sua respectiva espessura e valor de condutividade térmica ( $\lambda$ ), utilizados para o cálculo da transmitância térmica das paredes constam na Tabela 15.

Tabela 15 – Dados do Protótipo III para calcular a transmitância térmica

<b>Material</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/m.K)</b>
Bloco vazado (comprimento)	0,30	0,38
Bloco vazado (largura)	0,07*	0,38
Bloco vazado (altura)	0,08	0,38
Reboco	0,02	1,15

Fonte: Da autora (2019).

\*O diâmetro do furo de 8 cm foi descontado.

Calculou-se a resistência térmica das camadas homogêneas, que consiste na divisão da espessura pela condutividade térmica do material, e definiu-se a resistência térmica da camada de ar, conforme parâmetros anteriormente mostrados na Tabela 3.

Tabela 16 – Resistência térmica das camadas homogêneas e resistência térmica da camada de ar para o Protótipo III

	<b>Resistência térmica da camada homogênea (<math>R_n</math>) (<math>m^2</math>)</b>	<b>Resistência térmica da camada de ar (<math>R_{ar}</math>) (<math>m^2.K/W</math>)</b>
<b>Bloco vazado</b>	0,0174	0,17
<b>Reboco</b>	0,1842	

Fonte: Da autora (2019).

A partir dos resultados expostos na Tabela 16, pode-se então aplicar a Equação 3, a qual resultou em um valor de 0,3716  $m^2.K/W$  para a  $R_t$  da parede.

A seguir, aplicou-se a Equação 1 para calcular a resistência térmica total ( $R_T$ ), na qual foram utilizados os valores expostos na Tabela 17. Os valores de  $R_{se}$  e  $R_{si}$ , foram obtidos de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), conforme exposto na Tabela 2.

Tabela 17 – Valores utilizados para determinação da resistência térmica total do Protótipo III

$R_{se}$ (m <sup>2</sup> .K/W)	$R_{si}$ (m <sup>2</sup> .K/W)	$R_t$ (m <sup>2</sup> .K/W)
0,04	0,13	0,3716

Fonte: Da autora (2019).

Após calcular a  $R_T$ , utilizou-se a Equação 4 para determinar a transmitância térmica das paredes do Protótipo III, os resultados são exibidos na Tabela 18.

Tabela 18 - Resistência térmica total e transmitância térmica do Protótipo III

$R_T$ (m <sup>2</sup> .K/W)	$U$ (W/m <sup>2</sup> .K)
0,5416	1,8464

Fonte: Da autora (2019).

Conclui-se que o valor da transmitância térmica da parede do Protótipo III está adequado para a Zona Bioclimática 2, pois o resultado obtido é menor do que o valor máximo admitido pela NBR 15575 (ABNT,2013), que é de 2,5 W/m<sup>2</sup>.K.

#### 4.2.4 Protótipo IV – Bloco de solo-cimento sem revestimento

Este protótipo foi executado seguindo os mesmos parâmetros do Protótipo III, porém, sem a camada de reboco no revestimento externo. A espessura e condutividade térmica dos materiais utilizados neste protótipo, utilizados para calcular a transmitância térmica, são demonstrados na Tabela 19.

Tabela 19 – Dados do Protótipo IV para calcular a transmitância térmica

Material	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m.K)
Bloco vazado (comprimento)	0,30	0,38
Bloco vazado (largura)	0,07*	0,38
Bloco vazado (altura)	0,08	0,38

Fonte: Da autora (2019).

\*O diâmetro do furo de 8 cm foi descontado.

Calculou-se a resistência térmica da camada homogênea, e definiu-se a resistência térmica da camada de ar.

Tabela 20 – Resistência térmica da camada homogênea e resistência térmica da camada de ar do Protótipo IV

	<b>Resistência térmica da camada homogênea (<math>R_n</math>) (<math>m^2</math>)</b>	<b>Resistência da camada de ar (<math>R_{ar}</math>) (<math>m^2.K/W</math>)</b>
<b>Bloco vazado</b>	0,1842	0,17

Fonte: Da autora (2019).

A seguir, aplicaram-se os resultados da Tabela 20 na Equação 3 para calcular a  $R_t$  da parede, a qual atingiu um valor de 0,3542  $m^2.K/W$ .

Com o valor de resistência térmica obtido, utilizou-se a Equação 1 para calcular a resistência térmica total ( $R_T$ ), na qual foram utilizados os valores expostos na Tabela 21. Os valores de  $R_{se}$  e  $R_{si}$  foram definidos de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005),

Tabela 21 – Valores utilizados para determinação da resistência térmica total do Protótipo IV

<b><math>R_{se}</math> (<math>m^2.K/W</math>)</b>	<b><math>R_{si}</math> (<math>m^2.K/W</math>)</b>	<b><math>R_t</math> (<math>m^2.K/W</math>)</b>
0,04	0,13	0,3542

Fonte: Da autora (2019).

Com o valor de  $R_T$  obtido, aplicou-se a Equação 4 para calcular a transmitância térmica das paredes do Protótipo IV, conforme resultados descritos na Tabela 22.

Tabela 22 – Resistência térmica total e transmitância térmica do Protótipo IV

<b><math>R_T</math> (<math>m^2.K/W</math>)</b>	<b><math>U</math> (<math>W/m^2.K</math>)</b>
0,5242	1,9076

Fonte: Da autora (2019).

Ao analisar o protótipo de solo-cimento sem revestimento de reboco, o resultado obtido para a transmitância térmica também atende o limite estabelecido pela NBR 15575 (ABNT, 2013) para a Zona Bioclimática 2.

### 4.3 Carga térmica

Foram analisados dois dias que apresentaram temperatura externa acima de 30°C no período de coleta, foram escolhidos os dias 09/09/2019 e 02/11/2019. Calculou-se a carga térmica a cada hora, para os quatro protótipos.

Neste caso, não foi realizada estimativa de gastos em Real quanto à utilização de climatização artificial para atingir a temperatura de conforto térmico. Os protótipos em análise são em escala reduzida, portanto, os mesmos não apresentariam valores significativos em moeda.

Para fins de cálculos, os valores da radiação solar foram obtidos de bibliografia, conforme os autores Frota e Schiffer (2001) e estão expostos na Tabela 23. A temperatura interna considerada foi de 24°C, a qual é uma temperatura de conforto térmico. Já para a temperatura externa, utilizaram-se os dados que foram coletados através das medições de temperatura *in loco*. Os valores de absorvidade foram extraídos da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), conforme Tabela 24.

Tabela 23 – Radiação solar (W/m<sup>2</sup>) incidente para a Latitude 30° Sul

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

Fonte: Frota e Schiffer (2001, p. 217) adaptado pela autora.

Tabela 24 – Absortância dos materiais das superfícies dos protótipos

<b>Material</b>	<b>Absortância (<math>\alpha</math>)</b>
Chapa de alumínio	0,05
Reboco claro	0,30 / 0,50
Tijolo aparente	0,65 / 0,80

Fonte: NBR 15220-3 (2005, p. 12) adaptado pela autora.

Na Tabela 25 visualizam-se os valores utilizados para o cálculo do fluxo de calor de cada um dos protótipos.

Tabela 25 – Dados dos protótipos I, II, III e IV para o cálculo do fluxo de calor.

<b>Protótipo</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
<b>Transmitância térmica das paredes (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	3,49	3,29	1,85	1,90
<b>Transmitância térmica da cobertura (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	0,48	0,48	0,48	0,48
<b>Absortividade da superfície externa (paredes)</b>	0,65	0,30	0,30	0,65
<b>Absortividade da superfície externa (cobertura)</b>	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Área das paredes (m<sup>2</sup>)</b>	0,384	0,384	0,540	0,540
<b>Área da cobertura (m<sup>2</sup>)</b>	0,64	0,64	0,64	0,64
<b>Temperatura interna (°C)</b>	24	24	24	24
<b>Resistência superficial externa (m<sup>2</sup>.K/W)</b>	0,04	0,04	0,04	0,04

Fonte Da autora (2019).

A partir dos dados demonstrados acima, aplica-se a Equação 5, para determinar os fluxos de calor das paredes e cobertura de cada um dos protótipos, e posteriormente calcular a carga térmica, a qual consiste no somatório dos fluxos de calor.

#### 4.3.1 Dia 09 de setembro de 2019

A temperatura externa máxima que foi registrada neste dia, foi de 35,4°C às 15h, sendo que a radiação solar máxima foi de 738 W/m<sup>2</sup>.

Aplicando a Equação 5, obteve-se os valores de fluxo de calor das paredes de fechamento e da cobertura dos protótipos, de modo que a soma destes valores resultou na carga térmica, conforme Tabela 26. Os valores demonstrados na tabela são correspondentes à hora em que foi registrada a temperatura máxima.

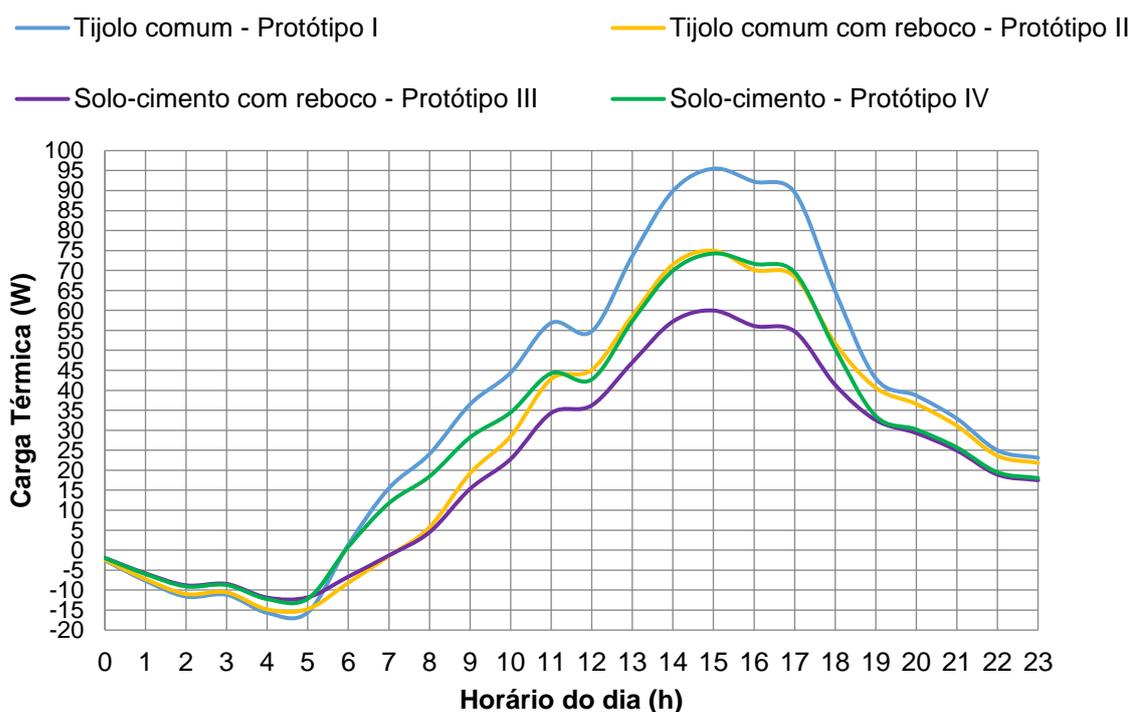
Tabela 26 – Fluxo de calor e carga térmica dos protótipos na hora mais quente do dia 09/09/2019

	Protótipo I	Protótipo II	Protótipo III	Protótipo IV
<b>Fluxo térmico parede norte (W)</b>	17,37	15,34	12,10	13,34
<b>Fluxo térmico parede sul (W)</b>	18,07	15,64	12,34	13,87
<b>Fluxo térmico parede leste (W)</b>	17,37	15,34	12,10	13,34
<b>Fluxo térmico parede oeste (W)</b>	38,62	24,58	19,38	29,65
<b>Fluxo térmico cobertura (W)</b>	4,05	4,05	4,05	4,05
<b>Carga térmica (W)</b>	95,49	74,97	59,98	74,25

Fonte Da autora (2019).

No Gráfico 1, pode-se visualizar o comportamento dos quatro protótipos ao longo do dia.

Gráfico 1 – Carga térmica dos protótipos no dia 09/09/2019



Fonte: Da autora (2019).

Através da análise do gráfico, percebe-se que, no momento em que a temperatura máxima do dia foi registrada, às 15h, o Protótipo III (solo-cimento com reboco) teve a carga térmica inferior aos demais protótipos, bem como, em praticamente todas as horas ao longo do dia,

O protótipo que teve a carga térmica mais elevada foi o Protótipo I (tijolo comum), o qual em grande parte do dia se manteve superior aos outros protótipos analisados.

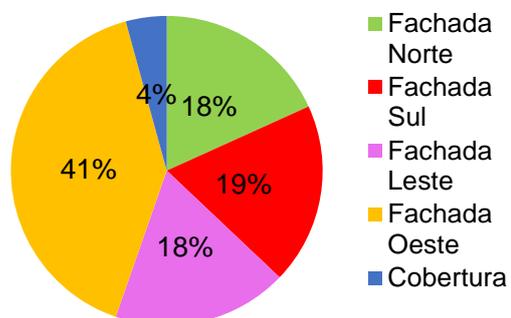
Quando comparados o Protótipo I e o Protótipo IV (solo-cimento), ambos sem revestimento de reboco, há uma diferença de 21,24 W na carga térmica crítica. O protótipo constituído com o material solo-cimento apresenta uma carga térmica 22% inferior ao protótipo com tijolo convencional.

A diferença de carga térmica entre o Protótipo II (tijolo comum com reboco) e Protótipo III (solo-cimento com reboco), consiste em 14,99 W. Neste caso, o protótipo composto por blocos de solo-cimento tem carga térmica de aproximadamente 20% mais baixa em relação ao protótipo construído com tijolo convencional.

Nota-se que a camada de reboco faz com que a carga térmica seja reduzida. Através da comparação dos protótipos de tijolo comum, o Protótipo I com reboco e o Protótipo II sem reboco, percebe-se uma redução de 21% na carga térmica crítica, o que corresponde a uma diferença de 20,52 W. Já para os protótipos com blocos de solo-cimento, há uma redução de 19%, equivalente à 14,27 W.

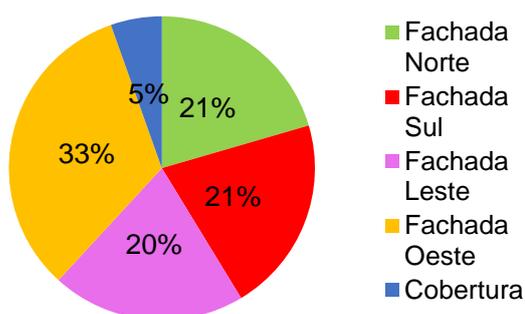
A contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica total de cada protótipo, na hora mais quente do dia, pode ser visualizada nos gráficos abaixo.

Gráfico 2 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo I no dia 09/09/2019



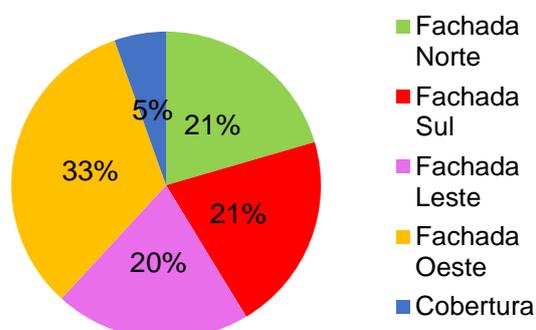
Fonte: Da autora (2019).

Gráfico 3 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo II no dia 09/09/2019



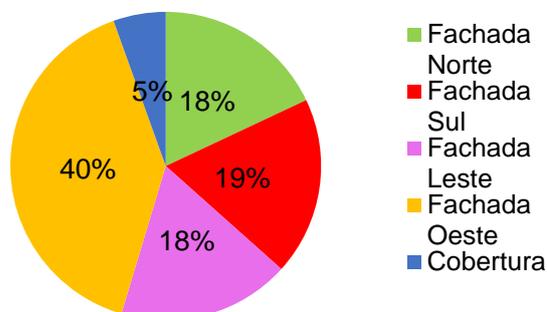
Fonte: Da autora (2019).

Gráfico 4 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo III no dia 09/09/2019



Fonte: Da autora (2019).

Gráfico 5 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo IV no dia 09/09/2019



Fonte: Da autora (2019).

Através da análise dos gráficos 2, 3, 4 e 5, pode-se constatar que a fachada oeste foi a que mais contribuiu quanto a carga térmica para todos os protótipos. A mesma apresentou valores de 38,62 W para o Protótipo I, 24,58 W para o Protótipo II, 19,3 W para o Protótipo III e 26,65 W para o Protótipo IV, de fluxo térmico no horário da carga térmica máxima, às 15h.

Observa-se que houve uma redução de fluxo térmico na fachada oeste, do Protótipo I para o Protótipo II equivalente à 14,04 W, enquanto que do Protótipo IV para o Protótipo III o fluxo térmico reduziu apenas 7,35 W. Em ambas as comparações, percebe-se que a camada de 2cm de reboco contribui para a diminuição do fluxo de calor.

#### 4.3.2 Dia 02 de novembro de 2019

No dia 02/11/2019, o pico da temperatura externa foi registrado às 15h, marcando 33,5°C e a radiação solar máxima de 779 W/m<sup>2</sup>.

Da mesma forma como demonstrado no item anterior para o dia 09/09/2019, aplicou-se a Equação 5 para obter os valores da carga térmica de cada um dos quatro protótipos. Os resultados obtidos constam na Tabela 27.

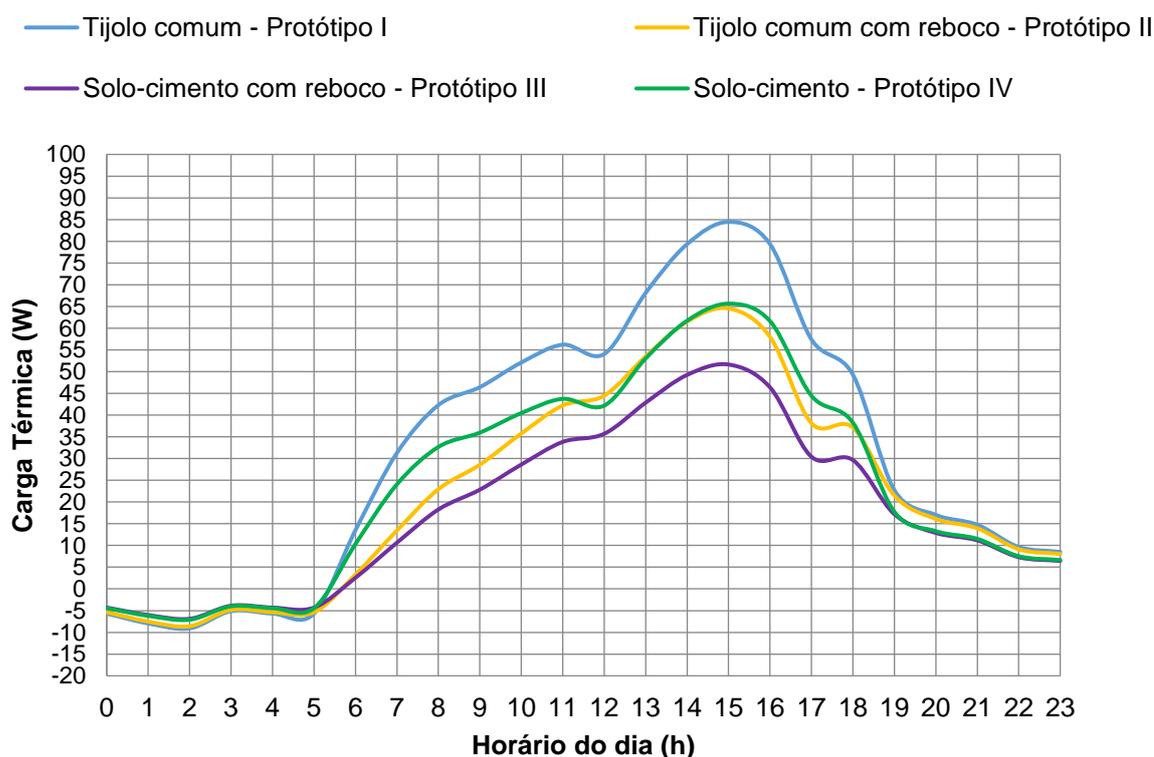
Tabela 27 – Fluxo de calor e carga térmica dos protótipos na hora mais quente do dia 02/11/2019

	Protótipo I	Protótipo II	Protótipo III	Protótipo IV
<b>Fluxo térmico parede norte (W)</b>	14,77	12,89	10,17	11,34
<b>Fluxo térmico parede sul (W)</b>	15,47	13,19	10,40	11,87
<b>Fluxo térmico parede leste (W)</b>	14,77	12,89	10,17	11,34
<b>Fluxo térmico parede oeste (W)</b>	36,01	22,13	17,45	27,65
<b>Fluxo térmico cobertura (W)</b>	3,45	3,45	3,45	3,45
<b>Carga térmica (W)</b>	84,47	64,55	51,64	65,65

Fonte Da autora (2019).

Observa-se no Gráfico 6, o comportamento da carga térmica dos protótipos durante todo o dia.

Gráfico 6 – Carga térmica dos protótipos no dia 02/11/2019



Fonte: Da autora (2019).

Ao observar o Gráfico 6, pode-se visualizar um comportamento semelhante ao exposto no Gráfico 1. Novamente, o Protótipo III (solo-cimento com reboco) apresentou carga térmica crítica mais baixa do que os outros três protótipos, e se

manteve inferior em grande parte do dia. Já o Protótipo I (tijolo comum), assim como no dia 09/09/2019, apresentou a carga térmica maior do que todos os protótipos analisados, durante a maior parte do dia.

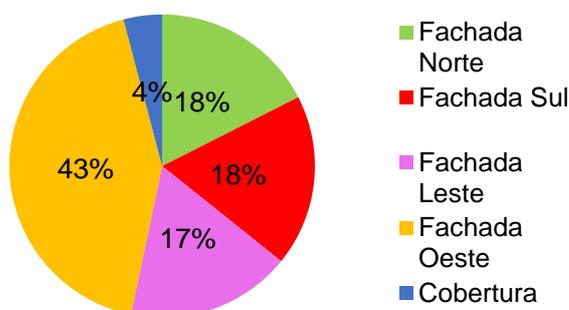
A diferença da carga térmica crítica do Protótipo I (tijolo comum) e do Protótipo IV (solo-cimento), consiste em 18,82 W, o que corresponde a uma redução de 22% do protótipo de tijolo comum para o com blocos de solo-cimento.

Já para o Protótipo II (tijolo comum com reboco) e o Protótipo III (solo-cimento com reboco), apresentam uma diferença de carga térmica crítica de 12,91 W, equivalente a uma redução de 20% do Protótipo II para o Protótipo III.

Através da comparação do Protótipo I com o Protótipo II, ambos construídos com tijolo comum, obteve-se uma diferença de 18,92 W, o que representa que a camada de reboco proporciona uma redução de 22% na carga térmica nesta hora do dia. Comparou-se também o Protótipo III e o Protótipo IV, ambos construídos com blocos de solo-cimento, e foi apresentada uma diferença de 14,01 W, equivalente a uma redução de 21% da carga térmica crítica para o protótipo com revestimento.

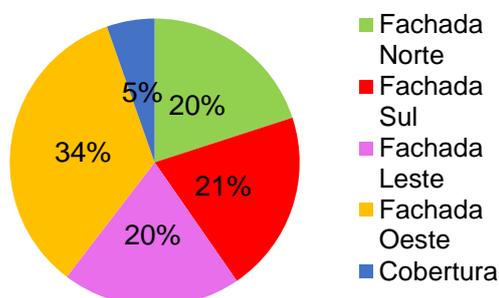
Nos gráficos 7, 8, 9 e 10 são exibidos os fluxos de calor de cada fachada e da cobertura dos quatro protótipos analisados, de modo a visualizar a contribuição para a carga térmica.

Gráfico 7 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo I no dia 02/11/2019



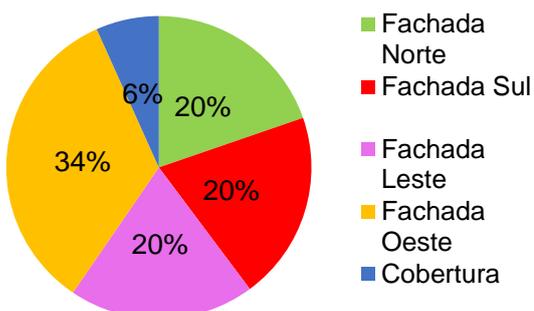
Fonte: Da autora (2019).

Gráfico 8 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo II no dia 02/11/2019



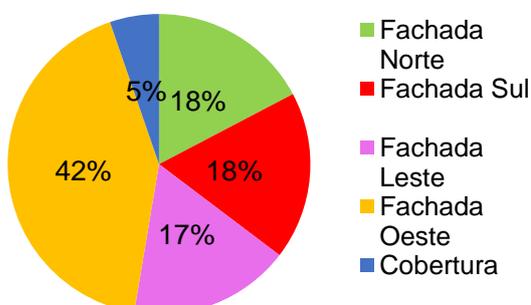
Fonte: Da autora (2019)

Gráfico 9 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo III no dia 02/11/2019



Fonte: Da autora (2019).

Gráfico 10 – Contribuição do fluxo de calor das fachadas e da cobertura para a carga térmica do Protótipo IV no dia 02/11/2019



Fonte: Da autora (2019).

Conforme ilustrado nos gráficos acima, neste dia também foi a fachada oeste que teve a maior parcela de contribuição na carga térmica total, para a hora mais quente do dia nos quatro protótipos. No Protótipo I, a fachada oeste apresentou o fluxo de calor com 36,01 W, enquanto que nos protótipos II, III e IV o valor de fluxo térmico desta fachada foi de 22,13 W, 17,45 W e 27,65 W, nesta ordem.

O revestimento de reboco neste caso, também se mostrou eficiente para a redução do fluxo de calor. Os protótipos I e II, construídos com tijolo comum, apresentaram uma diferença de 13,88 W no fluxo de calor, sendo o menor valor o do protótipo com reboco. Nos protótipos com blocos de solo-cimento, o Protótipo III e o Protótipo IV, houve uma redução de 10,20 W no fluxo de calor do protótipo sem revestimento, para o que contém uma camada de 2cm de reboco.

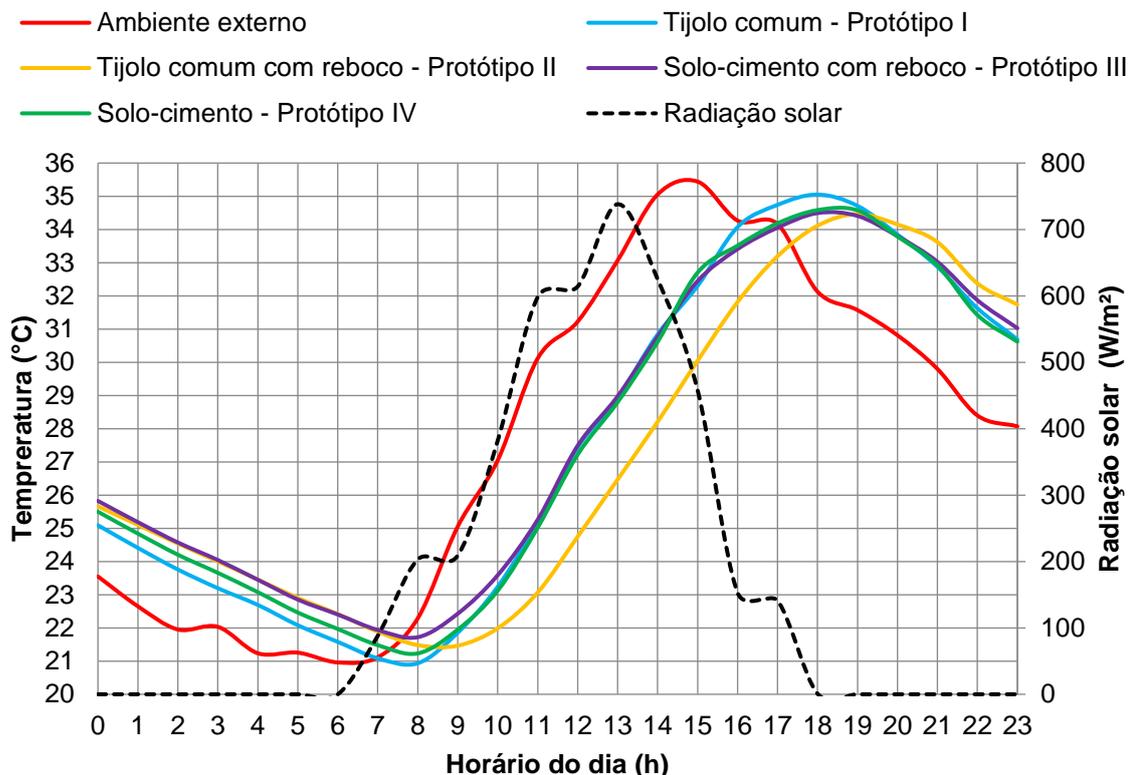
#### **4.4 Análise das temperaturas e radiação solar**

A coleta de dados das temperaturas foi realizada no período de 30/08/2019 à 08/11/2019, e a partir dos dados obtidos, foram elaborados gráficos comparativos entre os protótipos, os quais serão expostos a seguir. As temperaturas internas e a externa, foram registradas de hora em hora durante todo o período, bem como a radiação solar.

##### **4.4.1 Dia 09 de setembro de 2019**

Após o início das leituras de temperatura, o dia 09/09/2019 foi o primeiro dia que ultrapassou os 30°C, chegando a uma temperatura externa máxima de 35,4°C, e radiação solar máxima de 738 W/m<sup>2</sup>. No Gráfico 1, são exibidas as temperaturas internas de cada protótipo, a temperatura externa e a radiação solar registrada pelo NIH, de hora em hora.

Gráfico 11 – Temperaturas e radiação solar no dia 09/09/2019



Fonte: Da autora (2019).

Percebe-se que a temperatura externa máxima ocorreu por volta das 15h. Neste horário, as temperaturas do Protótipo I, Protótipo II, Protótipo III e Protótipo IV, atingiram 32,3°C, 30,0°C, 32,4°C e 32,7°C, respectivamente. Os protótipos I, II e IV tiveram o seu pico de temperatura às 18h, o que representa um atraso térmico de 3h, enquanto que o Protótipo III teve um atraso térmico de 4h, atingindo a sua temperatura interna máxima somente às 19h.

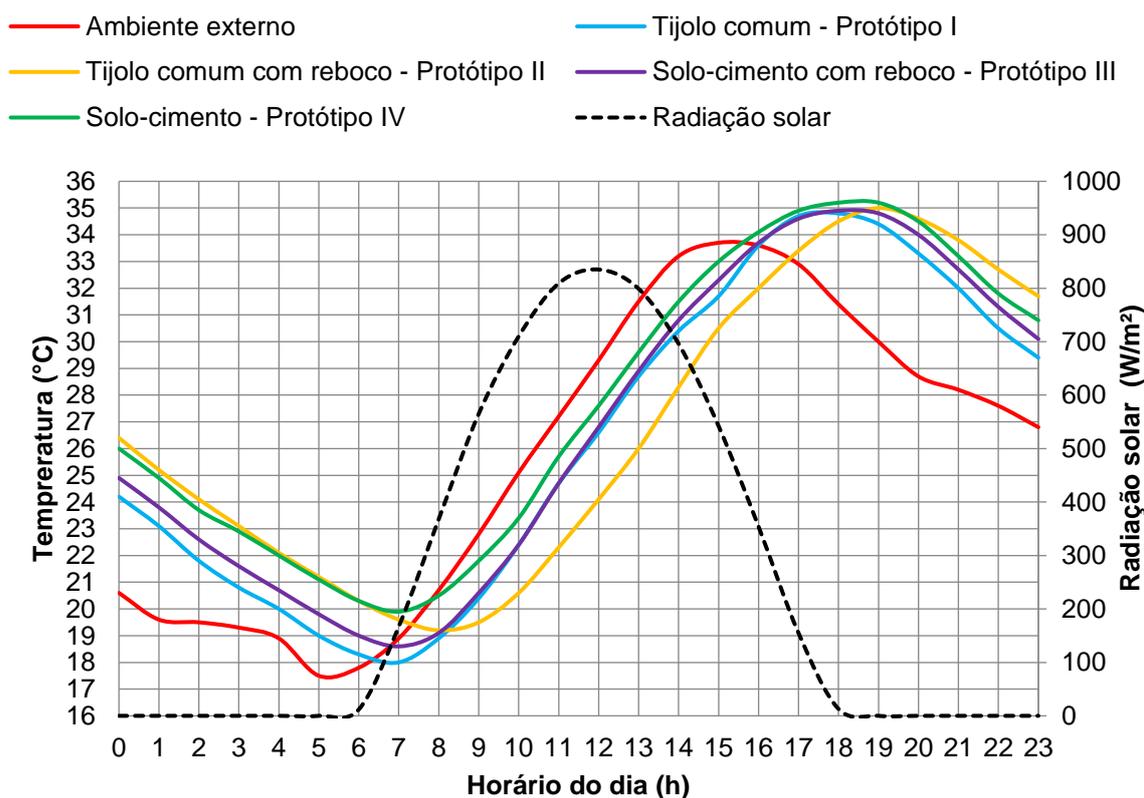
Quanto ao desempenho térmico, o protótipo que manteve a temperatura interna mais baixa foi o Protótipo II (tijolo comum com reboco), e o que atingiu as temperaturas mais elevadas foi o Protótipo I (tijolo comum). Os protótipos III e IV, ambos constituídos com o material solo-cimento, tiveram comportamento semelhante entre si e mantiveram temperaturas muito próximas do Protótipo I no decorrer do dia enquanto a temperatura externa aumentava, porém, ainda ficaram com suas máximas abaixo da atingida pelo Protótipo I.

Observa-se que a radiação solar máxima foi registrada às 13h, e a curva da temperatura externa teve o seu pico somente 2h depois.

#### 4.4.2 Dia 30 de setembro de 2019

No dia 30/09/2019, a temperatura externa máxima chegou aos 33,7°C às 15h, e a radiação solar máxima registrada, foi de 835 W/m<sup>2</sup>. Os dados de temperatura do ambiente e dos protótipos, bem como de radiação solar, podem ser visualizados no Gráfico 12.

Gráfico 12 – Temperaturas e radiação solar no dia 30/09/2019



Fonte: Da autora (2019).

Neste caso, no momento em que a temperatura externa máxima foi atingida, a temperatura interna dos protótipos I, II, III e IV alcançou 31,7°C, 30,5°C, 32,3°C e 33,0°C, respectivamente.

Pode-se observar, através do Gráfico 12, que o Protótipo II (tijolo comum com reboco) manteve a sua temperatura interna inferior aos demais protótipos durante praticamente todo o dia. O seu pico de temperatura foi registrado somente às 19h, de modo que o atraso térmico em relação ao ambiente externo foi de 4h, enquanto que para os protótipos I, III e IV, o atraso térmico foi de 3h, sendo que suas temperaturas máximas foram registradas às 18h. Destaca-se que, ao final do dia, o Protótipo II apresentou-se com a temperatura interna mais elevada.

O Protótipo III e o Protótipo IV, ambos construídos com blocos de solo-cimento, apresentaram-se com temperaturas médias mais elevadas quando comparados com os protótipos feitos com tijolo convencional.

Percebe-se que a camada de revestimento aplicada no Protótipo II (tijolo comum com reboco) e no Protótipo III (solo-cimento com reboco), colabora para impedir a entrada de calor no interior dos mesmos, pois, quando comparadas as temperaturas destes protótipos com os seus correspondentes sem o revestimento, eles apresentam temperaturas internas inferiores.

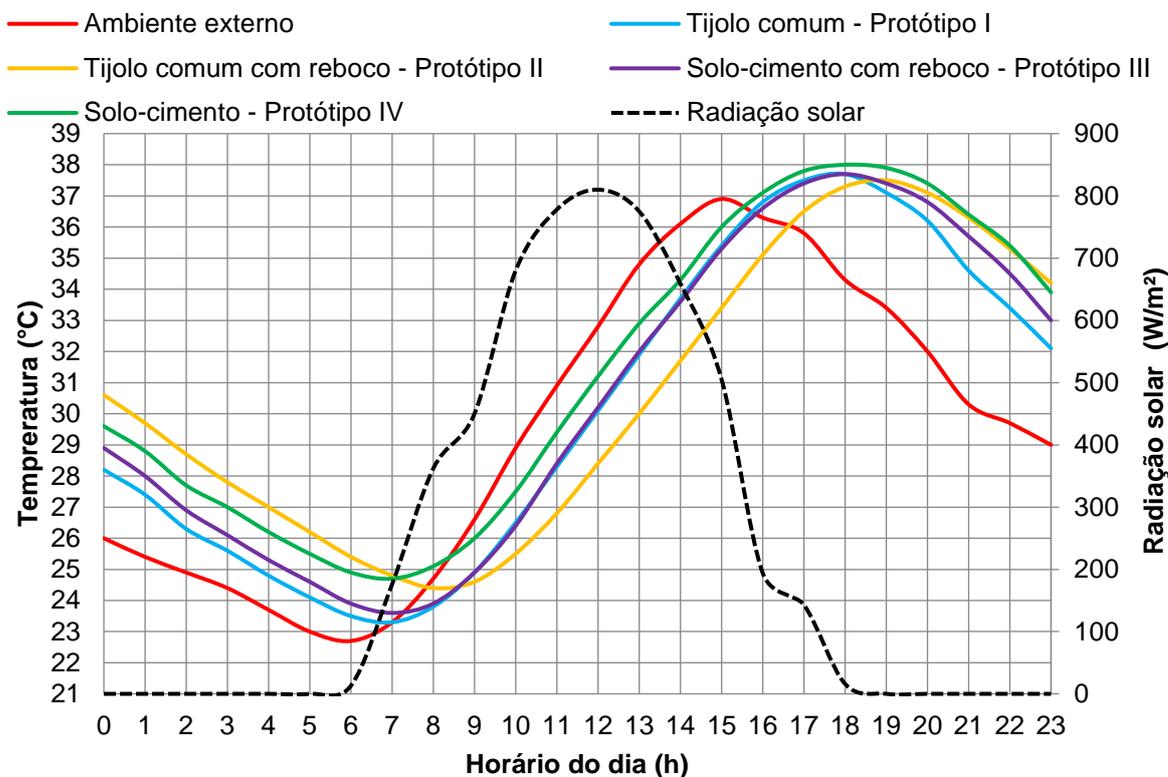
A radiação solar apresentou comportamento bastante padronizado, sendo crescente das 6h às 12h, momento em que atingiu o seu pico, e após, decresce aproximadamente até as 18h quando não há mais presença de raios solares incidentes. Observa-se que a temperatura externa máxima ocorre 3h após ser registrado o pico de radiação solar e apesar da radiação solar ter sido maior que no dia 09/09/2019, a temperatura externa máxima permaneceu inferior.

#### **4.4.3 Dia 01 de outubro de 2019**

A temperatura externa máxima registrada no dia 01/10/2019 foi às 15h e atingiu 36,9°C, e a radiação solar máxima neste dia foi de 810 W/m<sup>2</sup> às 12h. No momento de pico de temperatura externa, o Protótipo I atingiu 35,4°C, o Protótipo II, 33,4°C, o Protótipo III, 35,3°C, e o Protótipo IV, 36,0°C.

Através do Gráfico 13, podem ser observados os registros de hora em hora para a temperatura interna dos protótipos, a temperatura do ambiente externo e da radiação solar.

Gráfico 13 – Temperaturas e radiação solar no dia 01/10/2019



Fonte: Da autora (2019).

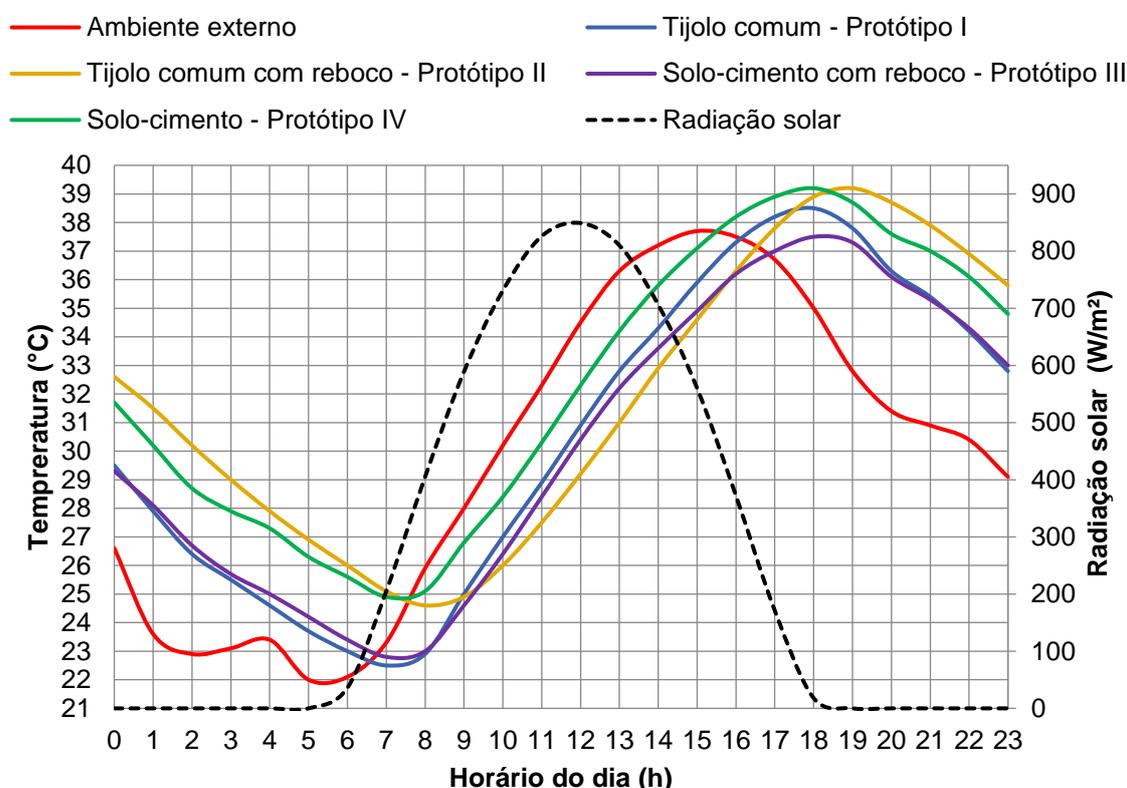
O Protótipo II inicia o dia com a temperatura interna mais elevada, pois conforme demonstrado no gráfico do dia anterior (Gráfico 12), ele terminou o dia 30/09/2019 com a temperatura interna maior que os demais protótipos. Apesar de apresentar a temperatura interna superior nas primeiras horas do dia, à medida que a temperatura externa aumenta, o mesmo mantém a sua temperatura interna inferior a todos os outros protótipos das 9h até aproximadamente às 18h30min. O seu pico de temperatura é registrado às 19h, o que equivale a um atraso térmico de 4h, enquanto que os demais protótipos tiveram atraso térmico de 3h.

O Protótipo IV (solo-cimento), nas horas de maior temperatura externa, foi o protótipo que teve a sua temperatura interna mais elevada. Já o Protótipo III (solo-cimento com reboco), devido à sua camada de revestimento, apresentou temperaturas internas mais baixas quando comparado com o Protótipo IV, porém, ainda superiores aos protótipos constituídos com tijolo convencional.

#### 4.4.4 Dia 12 de outubro de 2019

O dia 12/10/2019, foi o dia que registrou a temperatura mais elevada durante todo o período de coleta, sendo a sua máxima de 37,7°C, atingida às 15h, enquanto que na mesma hora a temperatura interna dos protótipos I, II, III e IV foi registrada em 36,0°C, 34,6°C, 34,9°C e 37°C, respectivamente. A radiação solar máxima neste dia foi de 849 W/m<sup>2</sup>, às 12h. No Gráfico 14, são exibidos de hora em hora, os dados coletados de temperatura interna para cada protótipo, temperatura externa e radiação solar.

Gráfico 14 – Temperaturas e radiação solar no dia 12/10/2019



Fonte: Da autora (2019).

Neste dia, o Protótipo III (solo-cimento com reboco) foi o protótipo que apresentou a média temperatura interna mais baixa e a sua temperatura máxima atingida, foi inferior quando comparada com as máximas dos demais protótipos. Este foi o único dia em que o Protótipo III teve um comportamento considerado mais eficaz em relação ao Protótipo II (tijolo comum com reboco), o qual nos dias anteriores sempre apresentou a temperatura interna inferior.

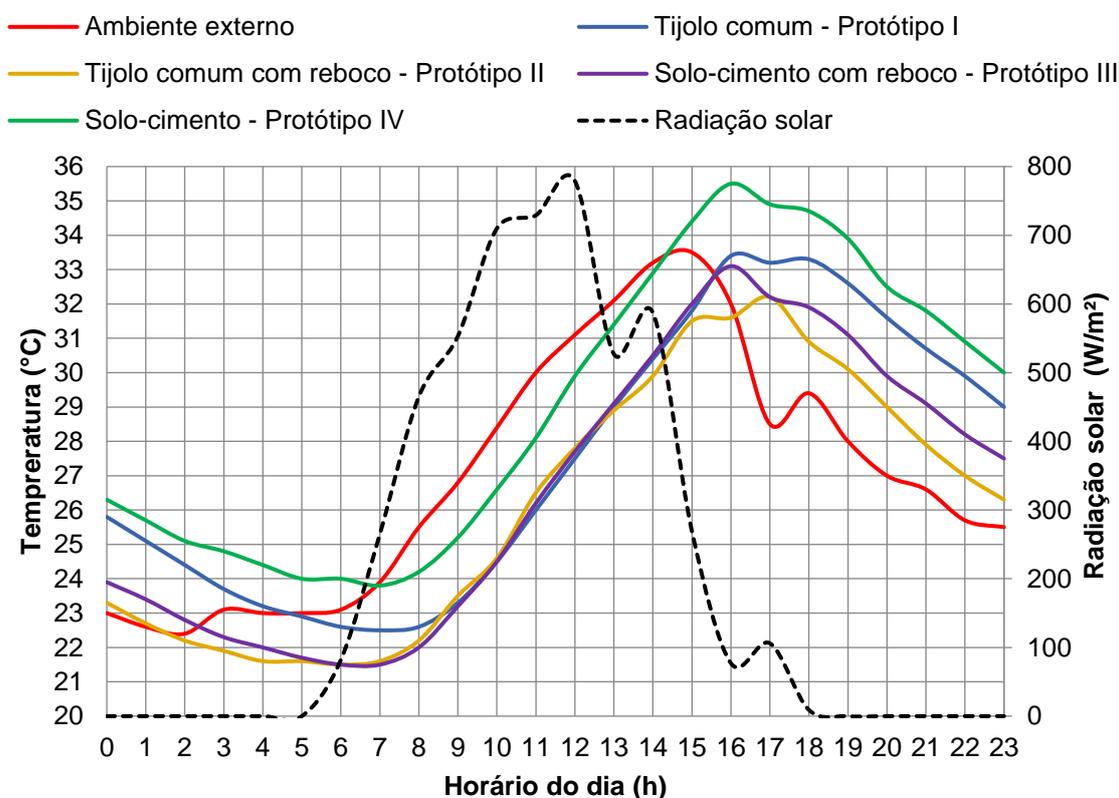
Assim como nos demais dias apresentados anteriormente, o Protótipo IV (solo-cimento) foi o qual atingiu a maior temperatura interna, com o seu pico atingindo 39,2°C, às 19h.

O atraso térmico calculado para os protótipos, resultou no mesmo padrão dos dias anteriores, sendo de 3h para o Protótipo II e de 4h para os protótipos I, III e IV.

#### 4.4.5 Dia 02 de novembro de 2019

O dia 02/11/2019, às 15h, atingiu uma temperatura externa máxima de 33,5°C e radiação solar máxima de 779 W/m<sup>2</sup>. No Gráfico 15, são exibidos os dados de temperatura que foram coletados e os registros de radiação solar disponibilizados pelo NIH.

Gráfico 15 – Temperaturas e radiação solar no dia 02/11/2019



Fonte: Da autora (2019).

O protótipo que apresentou a temperatura interna mais baixa em praticamente todo o dia, foi o Protótipo II (tijolo comum com reboco), sendo a sua temperatura máxima correspondente a 32,3°C, que é inferior às máximas dos demais protótipos. Em seguida, o segundo protótipo que manteve a temperatura interna mais baixa foi o Protótipo III (solo-cimento com reboco), o qual teve sua máxima atingindo 33,1°C. Os protótipos I (tijolo comum) e IV (solo-cimento), ambos sem revestimento de reboco, tiveram seus picos em 33,4°C e 35,5°C, respectivamente. O protótipo IV foi o que manteve a temperatura interna mais elevada durante o dia todo.

O cálculo para o atraso térmico, apresentou resultados de acordo com os exibidos para os dias anteriores, ou seja, corresponde a 4h para o Protótipo I, Protótipo II e Protótipo IV, e de 3h para o Protótipo III.

Neste dia a radiação solar oscilou em diversos momentos, sendo o seu pico máximo atingido às 12h, de modo que a temperatura externa máxima foi registrada 3h depois. Após o pico de radiação houve um decréscimo, e às 14h um aumento novamente, o que influenciou o comportamento da temperatura externa, que também voltou a aumentar após ter diminuído, porém, esta aumentou somente às 18h.

## 5 CONCLUSÃO

A partir do presente trabalho de pesquisa, pôde-se constatar a importância do arquiteto ou engenheiro terem conhecimento acerca dos conceitos de sustentabilidade, desempenho e eficiência energética de edificações, de forma que busquem aplicar as soluções eficientes, pois a redução do consumo energético reflete diretamente na produção de energia, o que gera economia e reduz impactos ambientais.

Além da questão do desempenho térmico, os blocos de solo-cimento se enquadram no contexto sustentável, por terem em predominância na sua composição um material de origem natural, que requer pouca energia para extração e dispensa a queima em seu processo de fabricação. Além disso, ao executar os protótipos, observou-se que a utilização de blocos modulares, proporciona um aumento do rendimento da mão-de-obra, principalmente por não ser necessária a aplicação de argamassa de assentamento, apenas uma fina camada de cimento-cola neste caso foi suficiente para fixar os blocos. Estes fatores implicaram em uma redução no tempo de execução e no desperdício de materiais.

Quanto à resistência à compressão simples dos blocos, estas atingiram resistências superiores às mínimas estabelecidas pela NBR 10836 (ABNT, 2013), o que corresponde a um resultado para confirmar a qualidade do material quanto à resistência, tendo em vista que o mesmo já é comercializado.

No que diz respeito à transmitância térmica das paredes, através dos cálculos realizados, pode-se concluir que os protótipos I e II, ambos construídos com tijolo comum, ultrapassam o valor máximo de transmitância térmica admitido para a zona

bioclimática 2, conforme determina a NBR 15575 (ABNT,2013), ou seja, não estão adequados conforme exige a norma. Enquanto que os protótipos III e IV, compostos por blocos de solo-cimento, estão dentro do limite que a norma estabelece para a zona bioclimática 2. Quanto à cobertura, que é igual para os quatro protótipos, a mesma também apresentou sua transmitância térmica abaixo do valor máximo determinado pela norma, portanto, atende os requisitos para esta zona.

Ao realizar comparativos de redução de transmitância térmica devido a camada de revestimento, pode-se identificar uma redução de 5,8% no protótipo de tijolo comum e de 3,2% no de bloco de solo-cimento, em relação aos protótipos de mesma materialidade sem a camada de reboco. Já a comparação entre os diferentes materiais, percebe-se que a redução da transmitância térmica do Protótipo I (tijolo comum) para o Protótipo IV (solo-cimento) corresponde a 45,4%, enquanto que e o Protótipo III (solo-cimento com reboco) reduziu 43,9% da transmitância térmica comparado com o Protótipo II (tijolo comum com reboco). Conclui-se há uma expressiva redução de transmitância térmica das paredes no Protótipo III e no Protótipo IV.

Para a carga térmica, os protótipos III e IV, construídos com bloco de solo-cimento, também apresentaram resultados que correspondem a um comportamento mais eficiente quando comparados com os seus protótipos correspondentes de tijolo comum. O Protótipo IV (solo-cimento) teve a carga térmica 22% inferior ao Protótipo I (tijolo comum), no dia 09/09/2019 e de 17% no dia 02/11/2019, enquanto que o Protótipo III (solo-cimento com reboco) teve uma redução de 20% em relação ao Protótipo II (tijolo comum com reboco), para os dois dias analisados.

Apesar dos resultados obtidos através dos cálculos de transmitância térmica e de carga térmica, apresentarem o material solo-cimento com melhor desempenho térmico em relação ao tijolo comum, as análises dos gráficos de temperatura do interior de cada protótipo, mostraram que, de modo geral, os protótipos construídos com blocos de solo-cimento, durante o período de coleta, registraram suas temperaturas internas superiores aos protótipos de tijolo comum na maior parte dos dias. Por isso, através da prática deste trabalho, o material solo-cimento não pode ser considerado um material com melhor desempenho do que o tijolo comum na zona bioclimática 2, de acordo com dados coletados em campo.

Deve ser levado em consideração que foi utilizada somente uma fina camada de cimento-cola para fixar os blocos de solo-cimento, técnica recomendada pelo próprio fabricante. A não utilização de argamassa de assentamento nos protótipos construídos com solo-cimento pode ter influenciado na comparação com os protótipos feitos com tijolo comum, tendo em vista que a técnica e o material utilizado foram diferente entre os protótipos.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, que sejam construídos protótipos utilizando a mesma técnica de assentamento de blocos, de modo a aproximar os comparativos de temperatura. Também se sugere, que sejam executados protótipos de maior escala e com ventilação, de forma que estas características os aproximem da realidade, onde seja significativo calcular os custos em moeda referente à utilização de climatização para proporcionar o conforto térmico.

## REFERÊNCIAS

ABIKO, Alex Kenya. **Tecnologias apropriadas: Tijolos e paredes monolíticas de solo-cimento**. 1980. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo – Escola Politécnica, São Paulo, 1980. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-12052017-090330/en.php>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

ABREU, Wagner Gomes de. **Manutenção Predial Sustentável: diretrizes e práticas em shopping centers**. 2012. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012. Disponível em: <[http://www.poscivil.uff.br/sites/default/files/dissertacao\\_tese/disseracaoformatada.pdf](http://www.poscivil.uff.br/sites/default/files/dissertacao_tese/disseracaoformatada.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2019.

AMORIM, Cláudia Naves David. **Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte I. Estratégias de Projeto para uma Arquitetura Sustentável**. Brasília, 2002. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/7318932-Iluminacao-natural-e-eficiencia-energetica-parte-i-estrategias-de-projeto-para-uma-arquitetura-sustentavel.html>>. Acesso em 01 de nov. de 2019.

ANANDA METAIS. **Telhas termoacústicas**. 2018. Disponível em: <<http://www.anandametais.com.br/produtos/coberturas/telhas-termoacusticas-3/>>. Acesso em: 31 mai. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Dosagem das misturas de solo-cimento; normas de dosagem e métodos de ensaios**. 3 ed. São Paulo: ABCP, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

\_\_\_\_\_ **NBR 10834**: Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT 2012.

\_\_\_\_\_ **NBR 10836**: Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

\_\_\_\_\_ **NBR 12023**: Solo-cimento – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

\_\_\_\_\_ **NBR 12024**: Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

\_\_\_\_\_ **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 1. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_ **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_ **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_ **NBR 15575**: Edifícios habitacionais - Desempenho – Parte 1. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_ **NBR 15575**: Edifícios habitacionais - Desempenho – Parte 4. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_ **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BARBOSA, Normando Perazzo; MATTONE, Roberto; MESBAH, Ali. Blocos de Concreto de Terra: Uma Opção Interessante para a Sustentabilidade da Construção. In: 44º Congresso Brasileiro do Concreto; Belo Horizonte, 2002. **Anais...**

BENITE, Anderson. **Emissões de carbono e a construção civil**. São Paulo: CTE (Centro de Tecnologia de Edificações), 2011. Disponível em: <<http://www.cte.com.br/imprensa/2011-02-27-emissoes-de-carbono-e-a-construcao-civ/>>. Acesso em: 24 abr. 2019.

BERMANN, Celio. **Energia no Brasil: para quê? Para quem? Crise e alternativas para um país sustentável**. São Paulo: Livraria da Física: FASE, 2002.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2008. 225f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/91026/260128.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 27 mai. 2019.

COSTA, Ennio C. **Física aplicada à construção civil: conforto térmico**. 4 ed. São Paulo, 2003.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado**. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2018**. Resultados Preliminares. Brasília, Ministério das Minas e Energia, 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acesso em 02 jun. 2019.

FERRAZ, André Luiz Nonato; SEGANTINI, Antonio Anderson da Silva. Engenharia Sustentável: Aproveitamento de resíduos de construção na composição de tijolos de solo-cimento. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5 ed, 2004, Campinas. **Anais...** Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022004000100052&lng=en&nrm=ab](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000100052&lng=en&nrm=ab)>. Acesso em: 02 jun. 2019.

FROTA, Anésia Barros; SHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo**. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GANHÃO, António Miguel Ganço Dias. **Construção Sustentável-Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação**. 2011. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2011.

GIL, Antonio. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

GIORGI, Priscila et al. **Avaliação de sustentabilidade e habitabilidade de blocos de solo-cimento segundo a norma ABNT NBR 15575**. Matéria (Rio J.), Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, 2018. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S151770762018000300430&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151770762018000300430&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 02 jun. 2019

GIORGI, Priscila. **Avaliação de desempenho de sistema de vedação vertical de bloco de solo-cimento conforme NBR 15575 referente à habitualidade e sustentabilidade**. 2016. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7938>>. Acesso em: 24 abr. 2019.

GOOGLE. Google Earth Pro. 2019. Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-07072003-160408/pt-br.php>>. Acesso em: 24 abr. 2019.

INCROPERA, Frank P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

INGLES, O.G.; METCALF, J.B. **Soil Stabilization: Principles and Practice**. Sydney, Butterworths, 1972.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2. ed. São Paulo: Pro Livros, 2004.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto e Stress térmico**. Laboratório de Eficiência Energética de Edificações. Florianópolis: UFSC, 2014. Disponível em: <http://www.labeeee.ufsc.br/>>. Acesso em: 27 mai. 2017.

LOURENÇO, Patrícia. **Arquitetura de terra: uma visão do futuro**. Companhia de Arquitectura e Design, Portugal, 2005.

MARQUES, W; CASTRO, R; ISAAC, M. Desempenho térmico de alvenaria de solo-cimento e sua adequação ao zoneamento bioclimático brasileiro. In: X ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Natal, 2009.

MARTINS, Vítor Manuel Vieira. **Alvenaria em Solo-Cimento: Para Moradias Unifamiliares em Angola**. 2011. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2011. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/59915>>. Acesso em: 31 mai. 2019.

MELO, Aluísio Braz et al. **Desempenho estrutural de protótipo de alvenaria construída com blocos de terra crua estabilizada**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 111-124, 2011. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/16812>>. Acesso em: 24 abr. 2019.

MILANI, Ana Paula da Silva. **Avaliação físico-mecânica de tijolos de solo-cimento e de solo-cal adicionados de casca de arroz**. 2005. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2005. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257511/1/Milani\\_AnaPauladaSilva\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257511/1/Milani_AnaPauladaSilva_M.pdf)>. Acesso em: 02 jun. 2019.

MOURA, Mariangela; MOTTA, Ana Lucia T. S. O Fator Energia na construção civil. In: IX CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 2013, Niterói, Rio

de Janeiro. **Anais...** Niterói: Latec UFF, 2013, v. 1. p. 1-14. Disponível em: <<http://www.inovarse.org/filebrowser/download/15525>>. Acesso em: 24 abr. 2019

NEVES, Célia Maria Martins; CARNEIRO, Alex Pires; COSTA, Dayana Bastos. **Uso do agregado reciclado em tijolos de solo estabilizado com cimento**. In: CASSA, J. C. S.; CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S. Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001. p. 228-260.

OLIVEIRA, Patrick Feliciano de; SILVA, Carlos Eduardo da. **Estudo comparativo entre sistemas construtivos: Bloco convencional x loco de solo-cimento**. 2018. 59f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, Tubarão, 2018. Disponível em: <<https://riuni.unisul.br/handle/12345/5231>>. Acesso em: 02 jun. 2019

PONTE, Maria Manuel Correia Costa da. **Arquitetura de Terra: o desenho para a durabilidade das construções**. 2012. 316 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2012.

SANTOS, Clarissa Armando dos. **Construção com terra no Brasil: Panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada**. 2015. 290f. Dissertação (Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/159436>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

SENÇO, Wlastermiller de. Solo-cimento no estado de São Paulo. **Revista Pesquisa e Tecnologia Fei**, São Paulo, p. 28-33, 1996.

SPINELLI, Rodrigo et al. Bioclimatic strategies for the city of Lajeado/RS-Brazil, using data analysis of regional climate. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, set. 2017. Disponível em: <[www.revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/50554](http://www.revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/50554)>. Acesso em: 02 jun. 2019.

SPINELLI, Rodrigo. **Ventilação natural na construção civil: análise de alternativas para implantação de sistemas**. 2016. 130f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, Lajeado, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/966>>. Acesso em: 27 mai. 2019.

TORGAL, Fernando Pacheco.; JALALI, Said. **A Sustentabilidade dos Materiais de Construção**. 2. ed. Guimarães, Portugal: TecMinho, 2010.

ZAMBIASI, Laura Martini. **Desenvolvimento de placa de isolamento térmico a partir da palha de soja**. 2018. 96f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado, 2018. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/handle/10737/2422>>. Acesso em: 31 mai. 2019.



**UNIVATES**

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