

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA  
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDE DE ALVENARIA COM  
REVESTIMENTO CERÂMICO E ARGAMASSADO**

**THÁBATA BETÂNIA OLIVEIRA DE CARVALHO**

**BARREIRAS-BA  
SETEMBRO-2017**

**THÁBATA BETÂNIA OLIVEIRA DE CARVALHO**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDE DE ALVENARIA COM  
REVESTIMENTO CERÂMICO E ARGAMASSADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador(a): Me. Elier Pavón de la Fé

**BARREIRAS-BA  
SETEMBRO-2017**

Universidade Federal do Oeste da Bahia - Bibliotecas UFOB

C331 Carvalho, Thábata Betânia Oliveira de.

**Avaliação do Desempenho Térmico de Parede de Alvenaria com Revestimento Cerâmico e Argamassado** / Thábata Betânia Oliveira de Carvalho. – Barreiras- Ba, 2017.

127 f.: il. color.; 29,7 cm.

Impresso.

Orientador: Prof. Me. Elier Pavón de La Fé

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil (bacharelado) – Universidade Federal do Oeste Bahia, Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias, 2017.

1. Conforto térmico - edificação. 2. Desempenho térmico - edificação. 3. Ambiente bioclimático. 4. Alvenaria I. La Fé, Elier Pavón de. II. Título.

CDD – 624

THÁBATA BETÂNIA OLIVEIRA DE CARVALHO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDE DE ALVENARIA COM  
REVESTIMENTO CERÂMICO E ARGAMASSADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal  
do Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção  
do grau de Engenheiro Civil.


Aprovada em 28 de setembro de 2017.

**Banca Examinadora**


Orientador(a):



\_\_\_\_\_  
M. SC. Elier Pavón de la Fé  
Universidade Federal do Oeste da Bahia



\_\_\_\_\_  
D.Sc. Juárez Hoppe Filho  
Universidade Federal do Oeste da Bahia



\_\_\_\_\_  
Eng. Cláudio Alex de Oliveira Pires  
Universidade Federal do Oeste da Bahia

*À Deus, à minha família e aos meus amigos.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por sempre ter me dado força e coragem ao longo desta jornada. A minha querida Santa Teresinha por zelar e guiar os meus passos.

Aos meus pais, Edinéia e Severo, pela persistência e luta na minha formação. Sem vocês não teria chegado até esta etapa de minha vida.

Aos meus irmãos Thales e Thayne que sempre me apoiaram e acreditaram em meu potencial.

A minha vozinha Luza que, deste sempre, esteve ao meu lado dando-me apoio para a realização deste sonho.

A minha inesquecível avó Prisolina, a quem sou eternamente grata e que espelhei-me em sua espiritualidade, humanismo e sabedoria.

Ao meu namorado e melhor amigo, Tiago, pelo carinho, paciência, compreensão e solidariedade infalível.

Aos meus cunhados Ana Paula, Caroline Machado, e Jackson Gouveia pela torcida e por vibrarem com as minhas conquistas.

Ao meu orientador Elier Pavón pela paciência, interesse, disponibilidade e quantidade e qualidade de ensinamentos transmitidos que contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

Aos meus queridos professores Abraham Cosmo, Samara Fernanda e Simone Cristina pelas palavras de incentivo e por proporcionarem conhecimento e afetividade da educação no processo de minha formação profissional.

A minha querida amiga e psicóloga Enes Mozelli por ter me incentivado a nunca desistir dos meus objetivos mesmo que a caminhada fosse árdua. Muito obrigada por ter me amparado nos momentos em que achei que não fosse conseguir.

Aos meus amigos Ana Gil, Adelson, Biduga, Borjão, Chuchana, Jorge Caires, Lais Oliveira, Letícia Ribas, Marquinhos, Mayana, Mirla, Natália Oliveira e Rosely, por sempre estarem ao meu lado. Obrigada pelas palavras de otimismo, pela força, pela confiança, pelo carinho, pela compreensão, pela paciência, pelo amor que vocês sempre tiveram comigo.

Aos amigos que ganhei na faculdade Alitani, Bruno Macaúbas, Carolina Machado, , , Cleiton, Fátima, Israel Martins, Juliana Rodrigues, Karol Aguiar, Mariana Matos, Matheus Valentim, Nivaldo Júnior, Jony, Josemar, Jossy, Maxwell, Tarantini, Thales Brito, Thúlio e

Wesley Ferraz por longas horas de estudo, pelas festas, pelas risadas, pelas “bagunças” jamais esquecidas.

Ao engenheiro Sérgio Ramos Martins e toda equipe da empresa NEW VALE CONSTRUTORA LTDA-EPP por terem me acolhido tão bem e pela oportunidade de aprendizado durante o período de 1 ano.

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), por ter proporcionado condições de desenvolver este trabalho.

## RESUMO

Na área da construção civil tem sido muito comum projetistas conciliarem o clima regional e local com o projeto arquitetônico, visando reduzir os impactos ambientais e melhorar a qualidade de vida dos usuários. Baseado neste contexto, a escolha ideal dos fechamentos das edificações, bem como o seu comportamento térmico, a orientação solar e os materiais que compõem tais fechamentos, tem sido fundamentais aos projetistas em busca de estratégias que beneficiem as construções e que venham a garantir conforto térmico aos usuários. Nesta ótica, o propósito do presente trabalho é avaliar o desempenho térmico de parede de alvenaria com revestimento cerâmico e argamassado para o município de Barreiras, o qual está situada na zona bioclimática 7, por meio de estudo teórico e estudo experimental. O estudo teórico consiste em determinar os parâmetros de desempenho térmico, verificando se os resultados destes parâmetros estão de acordo com as diretrizes construtivas para a zona bioclimática 7 presentes nas normas NBR 15220 (2003) – Desempenho Térmico e NBR 15575 (2013) – Desempenho de Edificações Habitacionais. No estudo experimental mensurou-se as temperaturas ambiente externa, ambiente interna, de superfícies interna e externa da parede de alvenaria com revestimento cerâmico e argamassado durante 4 dias, para as orientações norte e sul. A partir dos dados coletados no experimento, analisou-se o comportamento dos gradientes de temperatura e a temperatura interna para verificar quais horários são mais propícios para garantir o conforto térmico. Como conclusão, observou-se que, a orientação solar interfere no desempenho térmico da edificação além dos materiais que constituem a parede de alvenaria.

**Palavras-chave:** conforto térmico, desempenho térmico, zoneamento bioclimático, alvenaria.

## ABSTRAT

In the area of civil construction it has been very common for designers to reconcile the regional and local climate with the architectural project, aiming to reduce environmental impacts and improve the quality of life of users. Based on this context, the ideal choice of building closures, as well as their thermal behavior, solar orientation and the materials that make up such closures, has been fundamental for the designers in search of strategies that benefit the constructions and that will guarantee thermal comfort to users. In this perspective, the purpose of the present work is to evaluate the thermal performance of masonry wall with ceramic and mortar coating for the municipality of Barreiras, which is located in the bioclimatic zone 7, through a theoretical study and experimental study. The theoretical study consists in determining the thermal performance parameters, verifying if the results of these parameters are in accordance with the constructive guidelines for the bioclimatic zone 7 present in the standards NBR 15220 (2003) - Thermal Performance and NBR 15575 (2013) - Performance of Housing Buildings. In the experimental study, the external ambient temperatures, internal environment, internal and external surface of the masonry wall with ceramic and mortar for 4 days were measured for the north and south orientations. From the data collected in the experiment, the behavior of the temperature gradients and the internal temperature were analyzed to verify which schedules are most suitable to guarantee thermal comfort. As conclusion, it was observed that, the solar orientation interferes in the thermal performance of the building besides the materials that constitute the wall of masonry.

**Key words:** thermal comfort, thermal performance, bioclimatic zoning, masonry.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média dos dados climáticos do Município de Barreiras/Bahia. ....	29
Tabela 2 - Propriedades térmicas dos materiais construtivos aplicadas em paredes. ....	59
Tabela 3 - Valores da resistência térmica superficial. ....	62
Tabela 4 - Valores da resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas. ....	64
Tabela 5 - Valores da absorvância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas). ....	67
Tabela 6 - Valores dos parâmetros de desempenho admissíveis para cada zona bioclimática de acordo com as normas NBR 15220 (2003) e NBR 15575 (2013). ....	69
Tabela 7 - Diretrizes para o Município de Barreiras. ....	69
Tabela 8 - Tipos de vedações para o Município de Barreiras. ....	70
Tabela 9 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de ganho solar admissível para vedação externa no Município de Barreiras. ....	70
Tabela 10 - Valores mínimos admissíveis para a transmitância térmica e capacidade térmica em vedação externa no município de Barreiras. ....	70
Tabela 11 - Valores das espessuras do bloco cerâmico. ....	74
Tabela 12 - Espessura dos materiais. ....	74
Tabela 13 - Dados dos materiais: condutividade térmica, densidade e calor específico. ....	74
Tabela 14 - Resultado final dos parâmetros de desempenho térmico para paredes de alvenaria com revestimento cerâmico e argamassada. ....	94
Tabela 15 - Valores dos parâmetros de desempenho térmico para o Município de Barreiras/Bahia de acordo com as normas NBR 15220 (2003) e a NBR 15575 (2013). ....	94
Tabela 16 - Características do termômetro digital com sensor termopar. ....	104

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Trajetória da Terra, diferenciando as estações do ano.....	18
Figura 2- Trajetória da radiação solar. ....	18
Figura 3- Piranógrafo ou Actinógrafo.....	19
Figura 4 - Piranômetro. ....	19
Figura 5- Termômetro de Líquido em Vidro.....	21
Figura 6- Termógrafo Bimetálico.....	21
Figura 7- Variação da direção do vento devido à presença de anteparos.....	22
Figura 8- Anemógrafo universal. ....	23
Figura 9 - Anemômetro totalizador.....	23
Figura 10 - Variação diária da umidade em função da temperatura. ....	24
Figura 11 - Psicrômetro. ....	25
Figura 12 - Higrômetro. ....	26
Figura 13 - Divisão climática do clima brasileiro. ....	28
Figura 14 - Localização do município de Barreiras. ....	30
Figura 15 - Taxa metabólica para diferentes atividades. ....	31
Figura 16 - Carta bioclimática de Olgyay.....	32
Figura 17 - Carta bioclimática adaptada de Givoni. ....	33
Figura 18 - Gráfico que relaciona PMV e PPD. ....	34
Figura 19 - Estratégias para ventilação natural.....	35
Figura 20 - Estratégias para resfriamento evaporativo.....	36
Figura 21 - Inércia térmica por resfriamento (a) e por aquecimento solar (b). ....	36
Figura 22 - Estratégia aquecimento solar passivo.....	37
Figura 23 - Estratégia de umidificação com fontes de água. ....	37
Figura 24 - Estratégia de resfriamento artificial: exaustor.....	38
Figura 25 - Aquecimento artificial .....	39
Figura 26 - Zoneamento bioclimático brasileiro. ....	40
Figura 27 - Condução de calor entre corpos com temperaturas diferentes (T1 E T2), separados por um material com seção A e de comprimento L. ....	42
Figura 28 - Valores da condutividade térmica para os diferentes tipos de materiais. ....	43
Figura 29 - Espectro eletromagnético dando ênfase ao intervalo do comprimento de onda da radiação térmica. ....	45
Figura 30 - Meio semitransparente associado aos processos de irradiação. ....	46
Figura 31 - Transmissão de calor nos fechamentos opacos.....	47

Figura 32 - Amortecimento e retardo térmico na temperatura interior em relação a temperatura exterior em consequência da inércia térmica.....	49
Figura 33 - Variáveis da abertura que influenciam no aporte de calor.....	50
Figura 34 - Variação da temperatura em função da espessura da parede.....	51
Figura 35 - Transmissão de calor por convecção por meio da agitação das moléculas do ar em cavidades.....	52
Figura 36 - Radiação térmica em parede.....	53
Figura 37 - Mecanismos de transferência de calor atuantes em uma parede.....	54
Figura 38 - Transferência de calor nos alvéolos.....	54
Figura 39 - Composição de parede de alvenaria.....	55
Figura 40 - Tipos de blocos cerâmicos e suas devidas dimensões.....	56
Figura 41 - Dimensões de fabricação para blocos de concreto.....	57
Figura 42 - Camadas de revestimento em paredes de alvenaria de bloco cerâmico.....	59
Figura 43 - Seções (Sa, Sb, Sc, Sd) de um componente com camadas homogêneas e heterogêneas.....	61
Figura 44 - Representação de uma parede dupla com câmara de ar.....	63
Figura 45 - Secção transversal de um bloco cerâmico com as respectivas câmaras de ar.....	63
Figura 46- - Representação do bloco cerâmico de 8 furos e argamassa de assentamento na vertical e na horizontal em formato 3D.....	72
Figura 47 - Posições esquemáticas para medições da espessura externa da parede ( $e_{\text{externa}}$ ) e septos ( $e_{\text{interna}}$ ).....	73
Figura 48- Valores da espessura da câmara de ar (e câmara de ar) na vertical e na horizontal. ....	73
Figura 49 - Parede de bloco cerâmico de 8 furos em formato 3 D com as respectivas medidas e seções.....	75
Figura 50 - Bloco cerâmico, em formato 3D, isolado com ênfase na área da superfície da argamassa.....	78
Figura 51 - Parede de bloco cerâmico de 8 furos em formato 3D, com suas devidas medidas e seções.....	81
Figura 52 - Modelo, em 3D, da parede móvel com revestimento cerâmico.....	98
Figura 53 - Vista frontal da parede móvel.....	99
Figura 54 - Etapa construtiva da parede de bloco cerâmico.....	100
Figura 55 - Parede móvel delimitada com placas de isopor.....	100
Figura 56 - Esquema, em 3D, do objeto em estudo com as respectivas variáveis a serem mensuradas.....	101

Figura 57 - Horários de medições de radiação térmica por meio do termômetro digital para uma das orientações. ....	101
Figura 58 - Modelo, em 3D, da parede móvel sem revestimento cerâmico.....	102
Figura 59 - Parede móvel sem revestimento cerâmico. ....	102
Figura 60 - Parede móvel sem o revestimento limitada por placas de poliestireno (isopor). ....	103
Figura 61 - Termômetro digital com sensor termopar tipo k. ....	104
Figura 62 - Objeto em estudo com a parte do revestimento cerâmico voltado para a orientação norte.....	105
Figura 63 - Objeto em estudo com voltado para a orientação norte. ....	106
Figura 64 - Gráfico do comportamento do gradiente do ar para a orientação norte. ....	107
Figura 65 - Gráfico do comportamento do gradiente do ar para a orientação sul.....	109
Figura 66 - Gráfico do comportamento do gradiente de superfície para a orientação norte. ....	110
Figura 67 - Gráfico do comportamento do gradiente de superfície para a orientação sul. ....	111
Figura 68 - Gráfico do comportamento do temperatura ambiente interna para a orientação norte. ....	113
Figura 69 - Gráfico do comportamento do temperatura ambiente interna para a orientação sul. ....	114
Figura 70 - Gráfico da temperatura ambiente interna nas direções norte e sul. ....	115
Figura 71 - Gráfico da temperatura ambiente interna nas direções norte e sul. ....	116

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVO GERAL.....	15
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4	ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	16
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1.1	RADIAÇÃO SOLAR.....	17
2.1.2	TEMPERATURA.....	19
2.1.3	VENTO.....	22
2.1.4	UMIDADE RELATIVA.....	24
2.2	CARACTERÍSTICAS DO CLIMA.....	26
2.2.1	TIPOS DE CLIMA.....	27
2.2.2	CLIMA NA CIDADE DE BARREIRAS.....	29
2.3	CONFORTO TÉRMICO.....	30
2.4	BIOCLIMATOLOGIA.....	31
2.4.1	ZONA DE CONFORTO.....	34
2.4.2	ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS.....	35
2.4.3	ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO.....	39
2.5	TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	40
2.5.1	PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA.....	40
2.5.2	DEFINIÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	41
2.5.3	MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	41
2.5.4	TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM EDIFICAÇÕES.....	47
2.5.5	TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM PAREDES.....	50
2.6	PROPRIEDADES DOS COMPONENTES DE PAREDES DE ALVENARIA.....	55
2.7	DESEMPENHO TÉRMICO.....	60
2.7.1	PARÂMETROS DO DESEMPENHO.....	60
2.7.2	PARÂMETROS DO DESEMPENHO NO MUNICÍPIO DE BARREIRAS.....	69
3.	ESTUDO TEÓRICO.....	71
3.1	DADOS DOS MATERIAIS.....	71
3.2	CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE DESEMPENHO PARA PAREDE COM REVESTIMENTO CERÂMICO.....	75

3.3	CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE DESEMPENHO PARA PAREDE ARGAMASSADA .....	83
3.4	RESULTADO DO ESTUDO TEÓRICO .....	83
4.	ESTUDO EXPERIMENTAL.....	96
4.1	ESTUDO DO EXPERIMENTO 1 (PAREDE COM REVESTIMENTO CERÂMICO) .....	97
4.1.1	DEFINIÇÃO DO OBJETO EM ESTUDO 1.....	97
4.1.2	DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO 1 .....	100
4.2	ESTUDO DO EXPERIMENTO 2 (PAREDE SEM REVESTIMENTO CERÂMICO) .....	102
4.2.1	DEFINIÇÃO DO OBJETO EM ESTUDO 2.....	102
4.2.2	DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO 2 .....	103
4.2.3	EQUIPAMENTO .....	103
4.3	LEVANTAMENTO DE DADOS.....	104
4.3.1	LEVANTAMENTO DE DADOS PARA PAREDE MÓVEL COM REVESTIMENTO CERÂMICO.....	104
4.3.2	LEVANTAMENTO DE DADOS PARA PAREDE MÓVEL ARGAMASSADO .....	105
4.4	RESULTADO DOS EXPERIMENTOS .....	106
4.4.1	COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO GRADIENTE DO AR DAS PAREDES COM REVESTIMENTO CERÂMICO E ARGAMASSADA (SEM REVESTIMENTO CERÂMICO) – DIREÇÕES NORTE E SUL.....	106
4.4.2	COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO GRADIENTE DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIES EXTERNA E INTERNA ENTRE AS PAREDES COM REVESTIMENTO CERÂMICO E ARGAMASSADA (SEM REVESTIMENTO CERÂMICO) – DIREÇÃO NORTE E SUL.....	110
4.4.3	COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA AMBIENTE INTERNA DAS PAREDES COM REVESTIMENTO CERÂMICO E ARGAMASSADA (SEM REVESTIMENTO CERÂMICO) – DIREÇÕES NORTE E SUL	112
4.4.4	COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA AMBIENTE INTERNA DA PAREDE COM REVESTIMENTO CERÂMICO – DIREÇÕES NORTE E SUL.....	114
4.4.5	COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA AMBIENTE INTERNA DA PAREDE ARGAMASSADA (SEM REVESTIMENTO CERÂMICO) – DIREÇÕES NORTE E SUL .....	115
5.	CONCLUSÕES.....	117
6.	SUGESTÕES.....	117
7.	REFERÊNCIAS.....	118

## 1. INTRODUÇÃO

Por possuir uma vasta extensão territorial, o Brasil é caracterizado por diferentes tipos climáticos. Cada região do Brasil é constituída por determinado clima que pode interferir na qualidade de vida das pessoas. Com base nisto, o clima tem sido de suma importância no ramo da construção civil. Verifica-se que, nos últimos anos, arquitetos e projetistas tem buscado conciliar fatores climáticos com a arquitetura visando garantir aos usuários conforto e um bom desempenho térmico da edificação.

Desde a metade do século passado, vários pesquisadores têm estudado as estratégias bioclimáticas com o intuito de garantir conforto térmico ao homem. Dentre os pesquisadores, os irmãos Olgyay foram os primeiros a introduzirem um procedimento sistemático visando adequar o projeto de uma edificação às condições climáticas. Em 1992 tal método foi aprimorado por Givoni buscando melhores soluções e estratégias para aumentar o conforto térmico (RUSSI et al., 2012).

O conforto térmico em uma edificação é definido por um conjunto de fatores, tais como as propriedades físicas dos materiais utilizados nas edificações, tipo de ocupação e atividade desenvolvida na edificação, relação do edifício com seu entorno (orientação solar, direção dos ventos, temperatura, umidade relativa do ar e o clima predominante (TUBELO, 2011).

As edificações devem propiciar conforto e segurança a seus usuários, atendendo as necessidades dos mesmos durante o período de vida útil das construções. Desta forma, nas últimas décadas, diversos setores da construção civil de vários países vêm se empenhando em gerar normas de desempenho com o intuito de garantir qualidade na concepção, elaboração e execução dos projetos (ALVIM, 2015).

O desempenho térmico de uma edificação consiste na reação global do projeto arquitetônico proposto baseado nas trocas térmicas entre o ambiente interno e seu entorno, na qual as características climáticas locais são consideradas uma das etapas mais importantes (SIQUEIRA.T et al., 2005).

No Brasil, existem duas normas que tem por objetivo avaliar o desempenho térmico das edificações. Tais normas consistem na NBR 15220 (2003) – Desempenho Térmico e a NBR 15575 (2013) – Desempenho de Edificações Habitacionais. A avaliação do desempenho térmico da edificação na norma NBR 15220 (2003) é realizada por etapas. Em

princípio, é feita primeiramente a definição da zona bioclimática na qual a edificação está inserida. Posteriormente, por meio da escolha da zona bioclimática, os valores de referência dos parâmetros como a transmitância térmica, atraso térmico e fator solar devem ser atendidos, bem como o tamanho das aberturas para a ventilação e o sombreamento das aberturas. No ano de 2013, a norma NBR 15575 (2013), foi publicada sendo a mesma aplicada a todas as edificações habitacionais. Tal norma possui requisitos e critérios de desempenho para as edificações bem como seus sistemas com base em requisitos do usuário como segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Além disso, a NBR 15575 (2013) utiliza a mesma definição de seus parâmetros através do zoneamento bioclimático da NBR 15220 (2003), porém avaliando somente a transmitância e a capacidade térmica dos materiais da envoltória através de valores de referência, verificando também a área para ventilação das aberturas (ALVIM, 2015).

No Brasil, um dos principais sistemas construtivos baseia-se em um conjunto formado por fundação, pilares, vigas e lajes de concreto armado, sendo que os vãos são ocupados por blocos cerâmicos de vedação. Por fim, a fase de acabamento da parede de alvenaria constitui-se do revestimento, a qual consiste na aplicação do chapisco, emboço, reboco e pintura (VASQUES & PIZZO, 2014).

Os materiais utilizados na construção civil interferem no desempenho térmico da edificação. As propriedades dos materiais de construção como densidade, massa, brilho, cor, dentre outros, correspondem às propriedades físicas dos mesmos. É através destas propriedades que é possível decidir sobre as potencialidades de aplicação de um material em termos de desempenho, durabilidade e conforto (MENDONÇA, 2005).

O presente estudo visa avaliar o desempenho térmico de parede de alvenaria com revestimento cerâmico e argamassado através do estudo teórico no qual baseia-se nas normas NBR 15220 (2003) e na NBR 15575 (2013), e no estudo experimental, utilizando um protótipo que simula uma edificação na qual são avaliadas o comportamento dos gradientes de temperatura.

## **1.1 Justificativa**

O principal contribuinte na atuação do comportamento térmico de um ambiente é o clima. Para realizar a avaliação do comportamento térmico é importante considerar o ambiente frente às diferenças climáticas locais (ABREU, 2004).

Nas últimas décadas, o conforto térmico tem sido o requisito primordial na área da construção civil. Entretanto, verifica-se que as edificações, no geral, não são apropriadas para uma determinada região causando, desta forma, desconforto térmico aos usuários.

Com base nisto, visando técnicas de construção para um melhor conforto térmico dos usuários em função do clima no município de Barreiras-Bahia, torna-se necessário as aplicações de normas como a NBR 15220 (2003) e a NBR 15575 (2013), nas quais estão as diretrizes construtivas e parâmetros de desempenho que devem ser adotados para que as edificações venham a obter desempenho térmico satisfatório.

O clima no Município de Barreiras é caracterizado por possuir períodos bem distintos. Na maior parte do ano, o tempo é quente e seco e com variação da amplitude térmica bem elevada o que gera desconforto térmico aos usuários (FLORES, 2011).

Portanto, o desinteresse por parte dos profissionais na área da construção civil e o clima no município de Barreiras foram fatores primordiais para a escolha do tema deste trabalho.

## **1.2 Objetivo Geral**

Avaliar o desempenho térmico das paredes de alvenaria com e sem revestimento cerâmico através dos estudos teórico e experimental.

## **1.3 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- ✓ Avaliar se os parâmetros de desempenho das paredes de alvenaria com e sem revestimento cerâmico atendem aos requisitos prescritos nas normas NBR 15220 (2003) e NBR 15575 (2013).
- ✓ Avaliar o comportamento do gradiente de temperatura do ar e do gradiente de temperatura de superfície das paredes com e sem revestimento cerâmico.

- ✓ Avaliar a temperatura interna das paredes de alvenaria com e sem revestimento cerâmico.

#### **1.4 Organização dos Capítulos**

O presente trabalho está estruturada em 6 capítulos.

O Capítulo 1 trata-se da introdução do tema, abordando o aspecto geral do trabalho, além de ser apresentados a justificativa do tema e seus objetivos geral e específicos.

No Capítulo 2 consta a revisão de literatura fundamental para o entendimento da pesquisa. Serão abordados conceitos das variáveis climáticas tais como radiação solar, temperatura, vento e umidade relativa do ar. Posteriormente, são retratados as características do clima com ênfase nos climas no Brasil e clima no Município de Barreiras, Bahia. Além disso, são apresentados os conceitos de zona de conforto, Bioclimatologia, transferência de calor e como esse fenômeno atua nas edificações e em paredes. Por fim, são indicadas as propriedades dos componentes de alvenaria e desempenho térmico.

O Capítulo 3 é destinado ao estudo teórico no qual são apresentados os dados dos materiais, cálculo dos parâmetros de desempenho térmico dos objetos em estudo, análise e comparação dos resultados dos parâmetros com as normas NBR 15220 (2003) e NBR 15575 (2013).

O Capítulo 4 é designado ao estudo experimental em que são obtidos os dados das temperaturas das áreas preestabelecidas. Tais dados fornecerão os gradientes de temperatura do ar, temperatura das superfícies e temperatura interna do ambiente nos quais serão analisados e, posteriormente, verificar se possuem desempenho térmico satisfatório.

Nos Capítulos 5 e 6 constam as conclusões gerais e as referências bibliográficas, respectivamente.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

A revisão de literatura está organizada em cinco partes para o entendimento do tema proposto e desenvolvimento da pesquisa. A primeira parte do capítulo retrata as variáveis

climáticas tais como: radiação solar, temperatura, vento e umidade relativa, as quais definem o clima de cada região, além de intervir no desempenho térmico de um determinado local. A segunda parte descreve as características do clima abordando o clima no mundo, o clima no Brasil, o clima no Município de Barreiras Bahia, relacionando-os ao conforto térmico. A terceira parte expõe sobre o conceito de Bioclimatologia com ênfase na zona de conforto, nas estratégias bioclimáticas e no zoneamento bioclimático. Na quarta parte são apresentados os conceitos de transferência de calor, com destaque na transferência de calor em edificações, transferência de calor em paredes e as propriedades dos componentes que constituem a alvenaria. Por fim, na quinta parte do capítulo é abordado o conceito de desempenho térmico bem como os parâmetros que influenciam o mesmo.

## **2.1 Variáveis do Clima**

As variáveis climáticas como radiação solar, temperatura, vento e umidade relativa do ar são utilizadas para obter as características do clima de cada região. Tais variáveis serão contextualizadas a seguir.

### **2.1.1 Radiação Solar**

A radiação solar é a energia emitida pelo sol e transmitida sob a forma de radiação eletromagnética. A variação na intensidade da radiação está relacionada à trajetória elíptica da Terra ao redor do Sol em conjunto com o movimento de rotação da Terra (Figura 1). Por essa razão, as regiões que recebem maior radiação solar estão localizadas entre os trópicos de Câncer, no hemisfério Norte, e Capricórnio, no Hemisfério Sul (LAMBERTS et al., 2014).

A radiação solar é classificada em direta e difusa. A radiação solar é do tipo direta quando atinge diretamente a terra e do tipo difusa quando uma parcela da radiação sofre um espalhamento pelas nuvens e pelas partículas existentes na atmosfera (Figura 2). Pode ser mensurada por uma variedade de instrumentos. Os mais utilizados, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, são o piranógrafo denominado também de actinógrafo que registra de forma contínua as variações da intensidade da radiação solar (Figura 3), e o piranômetro que mede a radiação solar global ou difusa (Figura 4).

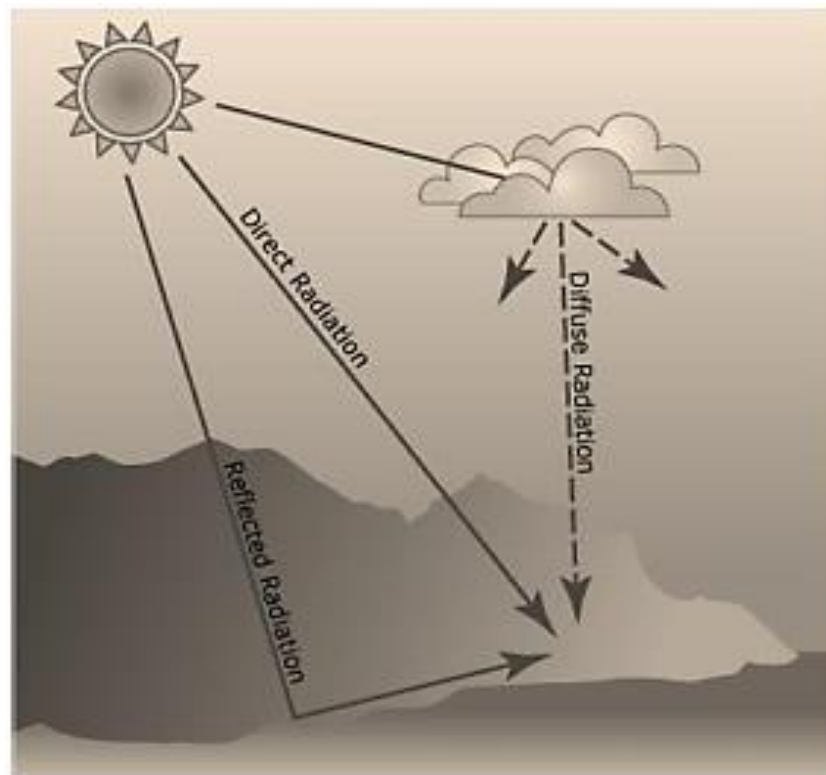
Figura 1 - Trajetória da Terra, diferenciando as estações do ano.



Fonte: < <https://www.estudokids.com.br/solsticios-e-equinocios/> >.

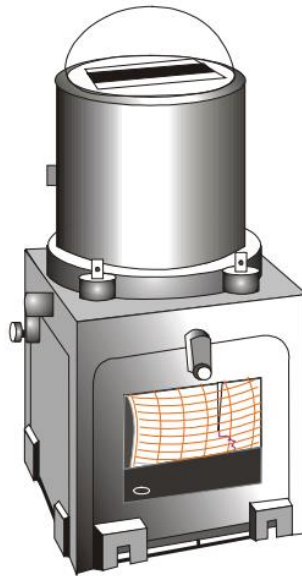
Acesso: 25/05/2017

Figura 2- Trajetória da radiação solar.



Fonte: LAMBERTS, 2016.

Figura 3- Piranógrafo ou Actinógrafo.



Fonte: SILVA, 2006.

Figura 4 - Piranômetro.



Fonte: <<http://fotometeo.ame-web.org/displayimage.php?pid=878>>.

Acesso: 25/05/2017

### 2.1.2 Temperatura

O conceito de temperatura origina-se por meio das nossas percepções sensoriais. Tal conceito se encontra enraizado nas noções de corpo “quente” ou “frio”. Porém, por mais sensível que seja as percepções sensitivas do ser humano, o mesmo não é capaz de avaliar a temperatura com precisão e, como consequência, torna-se difícil estabelecer um conceito definido ou aceito com relação a mesma. Desta forma, o conceito de equilíbrio

térmico contribui para o entendimento da variável temperatura (MORAN & SHAPIRO, 2007).

O equilíbrio térmico é o estado em que, dois corpos com temperaturas diferentes, estão em contato e o corpo mais quente cede calor para o corpo mais frio até que ambos fiquem com a mesma temperatura.

O calor, segundo Halliday (2009), consiste na transferência de energia de um determinado sistema para um ambiente e vice-versa devido a uma diferença de temperatura.

De acordo com Lamberts e Duarte (2016), a temperatura do ar é consequência da radiação solar que atinge o solo sendo uma parcela absorvida e transformada em calor. A partir disso, a temperatura do ar aumenta com o nascer do sol atingindo valor máximo por volta das duas horas após a passagem do sol pelo meridiano. Posteriormente, a temperatura da superfície da Terra decresce alcançando valor mínimo.

O comportamento da temperatura do ar em um determinado local pode ser obtido, ao longo do ano, por meio das Normais climatológicas. As Normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET fornecem dados climáticos medidos em estações meteorológicas para períodos de trinta a trinta anos. Estes dados consistem em valores médios e extremos mensais de temperatura, umidade, precipitação, nebulosidade, entre outros (LAMBERTS & DUARTE, 2016).

As temperaturas são mensuradas por meio de instrumentos apropriados, sendo os mais utilizados o termômetro de líquido em vidro e o termógrafo bimetálico. Os termômetros de líquido em vidro são utilizados para observações de rotina da temperatura do ar, incluindo as temperaturas máximas e mínimas. O líquido presente no termômetro pode ser o mercúrio apropriado para temperaturas máximas ou álcool etílico apropriado para temperaturas baixas (Figura 5). Já os termógrafos bimetálicos fornecem um registro contínuo da temperatura para um certo intervalo de tempo (Figura 6) (ORGAZ et. al., 1995).

O princípio de funcionamento do termômetro de líquido em vidro consiste na variação do volume do líquido, podendo ser de mercúrio ou álcool etílico, em consequência a uma mudança de temperatura do meio ao qual o instrumento está situado. No caso do termógrafo bimetálico, o funcionamento ocorre quando a unidade sensora ativa um sistema de alavancas em consequência a variação da temperatura. Posteriormente, esse

sistema desloca uma haste na qual se encontra a pena registrando, em um digrama de papel, os valores da temperatura (M. A. V. SILVA, 2006).

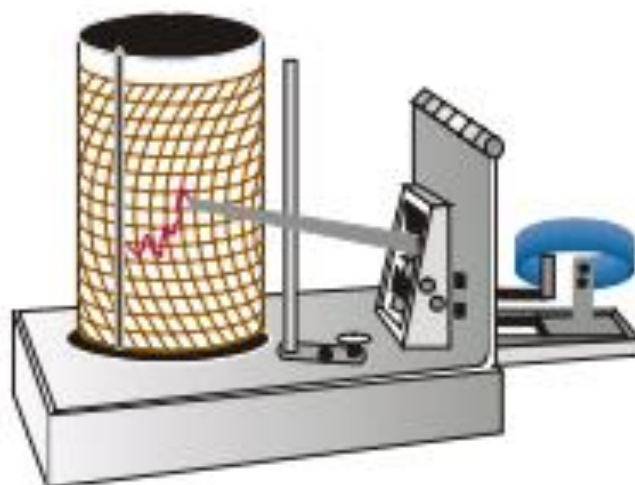
Figura 5- Termômetro de Líquido em Vidro.



Fonte: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAelkMAL/transdutores-temperatura>>.

Acesso: 25/05/2017

Figura 6- Termógrafo Bimetálico.



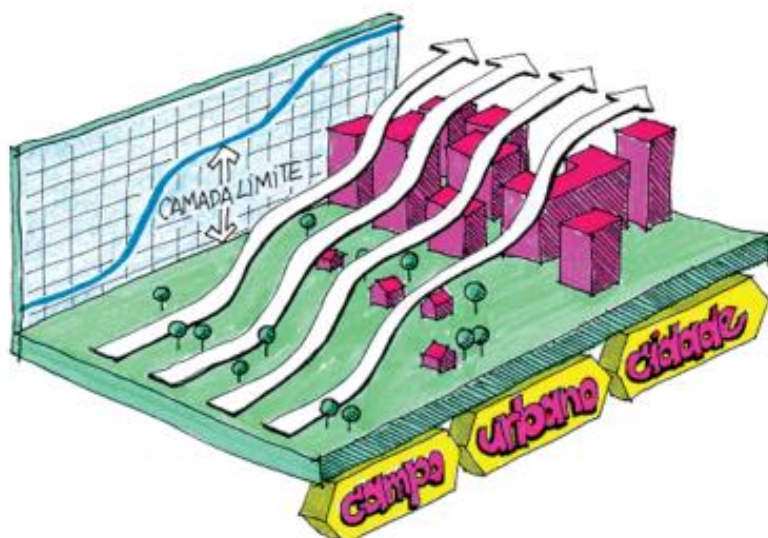
Fonte: SILVA, 2006.

### 2.1.3 Vento

O vento é definido como sendo a componente horizontal do movimento do ar junto à superfície do Globo (ORGAZ et. al., 1995). O vento é uma variável climática que está relacionada com a variação da temperatura. O seu deslocamento vai a partir da área de maior pressão (ar mais frio e pesado) até a área de menor pressão (ar quente e leve) proveniente da diferença nas temperaturas das massas de ar (LAMBERTS et al., 2014). A trajetória do vento é influenciada pela altitude, pela topografia e pela rugosidade do solo.

Portanto, conforme é ilustrado na Figura 7, a presença anteparos naturais ou artificiais interferem na direção do fluxo do vento.

Figura 7- Variação da direção do vento devido à presença de anteparos.



Fonte: LAMBERTS et al., 2014.

A direção e a velocidade do vento podem ser mensuradas, segundo o INMET, pelo anemógrafo universal ou pelo anemômetro totalizador. No anemógrafo universal é registrado, em um mesmo diagrama, a direção, a velocidade instantânea e a trajetória do vento. É constituído por três distintos sensores e quatro penas registradoras, sendo duas para a direção, uma para a distância percorrida e a última para a velocidade instantânea (Figura 8) (SILVA, 2006).

O anemômetro totalizador permite determinar apenas a velocidade média do vento para um dado intervalo de tempo. É constituído por um conjunto de engrenagens que convertem o número de rotações do eixo em uma “distância percorrida” pelo vento,

indicando-a digitalmente. A velocidade média pode ser determinada pela razão da diferença entre duas leituras consecutivas pelo tempo transcorrido entre elas (Figura 9) (SILVA, 2006).

Figura 8- Anemógrafo universal.



Fonte: <<https://luciafebrirlita17.wordpress.com/2014/04/09/unsur-unsur-iklim-dan-cuaca-ii-angin/>>.

Acesso: 28/05/2017

Figura 9 - Anenômetro totalizador.



Fonte: SILVA, 2006.

#### 2.1.4 Umidade Relativa

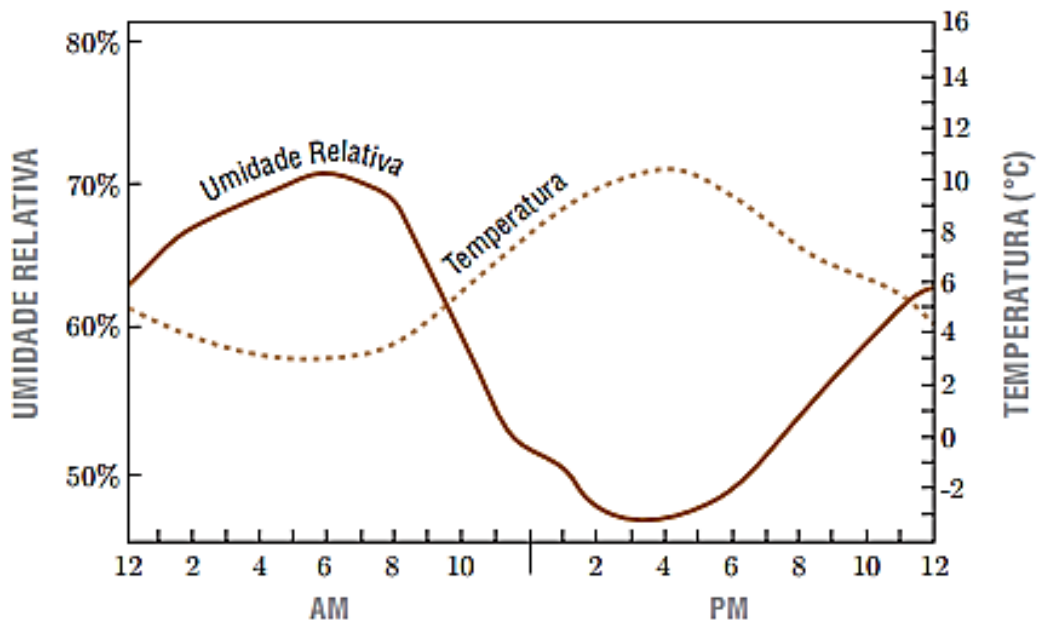
A umidade relativa do ar é definida como sendo a quantidade de vapor de água presente na atmosfera resultante da evaporação da água dos mares, dos rios, dos lagos além da evapotranspiração dos vegetais.

Segundo a NBR 15220 (2003), a umidade relativa do ar é a razão entre a umidade absoluta do ar pela umidade absoluta do ar saturado, para uma mesma temperatura e pressão atmosférica. A umidade relativa do ar é expressa em porcentagem (%).

A temperatura influencia na quantidade de vapor d'água existente na atmosfera. Desta forma, temperaturas elevadas resultará numa menor quantidade de vapor de água por metro cúbico de ar. Caso a parcela de água evaporada no ar seja maior possível para uma certa temperatura, diz-se que o ar está saturado. Entretanto, se a parcela de vapor d'água no ar é menor que o máximo possível para determinada temperatura, diz-se que está proporção é a umidade relativa do ar (LAMBERTS et al., 2014).

Portanto, a umidade relativa do ar aumenta quando ocorre diminuição da temperatura e diminui quando há aumento da mesma (Figura 10).

Figura 10 - Variação diária da umidade em função da temperatura.



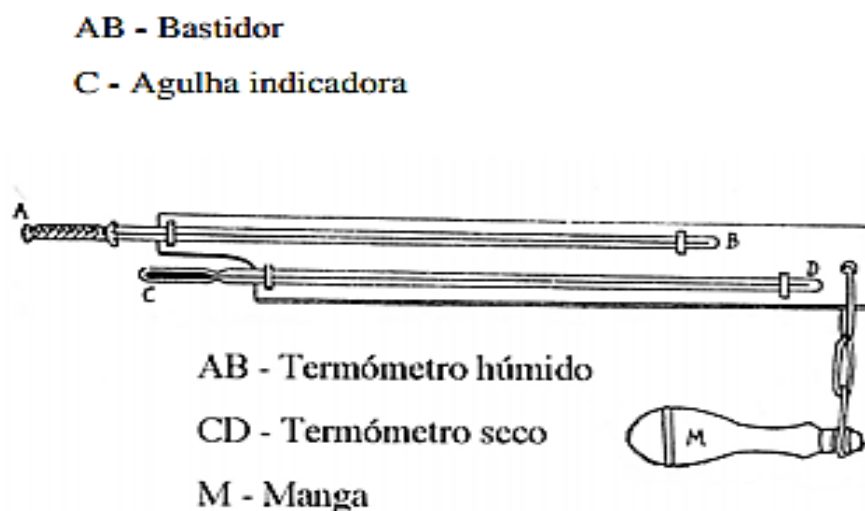
Fonte: SILVA et al., 2011.

De acordo com INMET, a umidade do ar pode ser mensurada por diversos instrumentos tais como psicrômetros e os higrômetros.

O psicrômetro é constituído de dois termômetros iguais, sendo o primeiro denominado termômetro de bulbo seco, e o segundo, com o bulbo envolvido em gaze ou cadarço de algodão, mantido constantemente molhado, é denominado de bulbo úmido (Figura 11). Os valores obtidos dos dois termômetros equivalem a temperatura do ar (bulbo seco) e a temperatura da água em processo de evaporação (bulbo úmido), respectivamente (SILVA, et al., 2011).

De acordo com Silva (2006), o princípio de funcionamento do psicrômetro consiste na evaporação da água que embebe o revestimento do bulbo úmido, ou do sensor que atua como tal. Primeiramente, o calor latente necessário à evaporação é retirado do próprio bulbo e a temperatura indicada pelo termômetro de bulbo úmido ( $t'$ ) começa a diminuir. Quando tal temperatura permanecer constante, o calor latente de evaporação é cedido pelo ar que flui junto ao bulbo úmido. Para verificar-se de ter sido atingido o equilíbrio térmico entre o bulbo úmido e o ar que escoia junto dele, o usuário deverá fazer leituras sucessivas do termômetro de bulbo úmido até que obtenha dois valores consecutivos iguais de  $t'$ , o que indica estabilização do processo. Posteriormente, é feita a leitura do termômetro de bulbo seco, que fornece a temperatura do ar ( $t$ ). Estando o ar saturado, não haverá evaporação, o que indica que  $t = t'$ . A diferença psicométrica ( $t - t'$ ) é, portanto, um indicador do estado de umidificação da atmosfera adjacente, sendo menor quanto mais úmido estiver o ar.

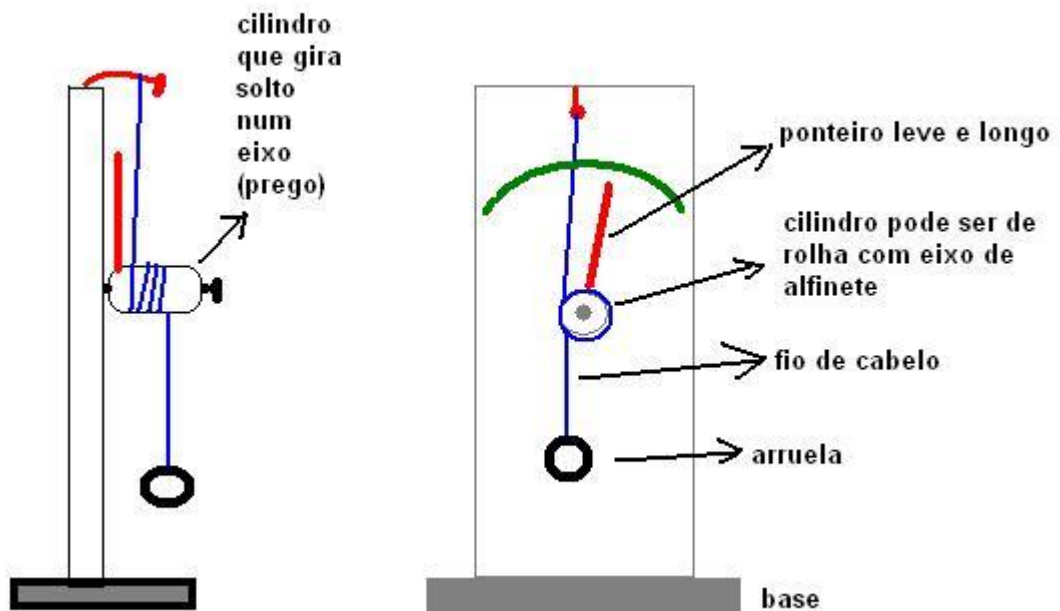
Figura 11 - Psicrômetro.



Fonte: ORGAZ et al., 1995.

O higrômetro utiliza como elemento sensível o “cabelo humano”, pois o mesmo quando livre de gorduras, sofre variações em seu comprimento em função das variações de umidade do ar. A medição utilizando o higrômetro é feita por meio de uma mecha de cabelo que é colocada entre um ponto fixo e o outro ponto móvel. Quando a mecha de cabelo está exposta a uma determinada umidade, a mesma varia de comprimento e, conseqüentemente, ocorrerá a movimentação do ponteiro que se desloca sobre uma escala, fornecendo os valores da umidade relativa (Figura 12) (SILVA et. al., 2011).

Figura 12 - Higrômetro.



Fonte: <<http://cavassani.blogspot.com.br/2010/08/higrometro-de-baixo-custo.html>>.

Acesso em: 28/05/2017

## 2.2 Características do Clima

O clima é definido como sendo o agrupamento de fenômenos meteorológicos que determinam a atmosfera de um determinado local (LOUREIRO, 2003).

Climas são condições meteorológicas que possuem variação em determinada região, além de ser uma das principais características naturais para a constituição do meio ambiente (ROCHA, 2004).

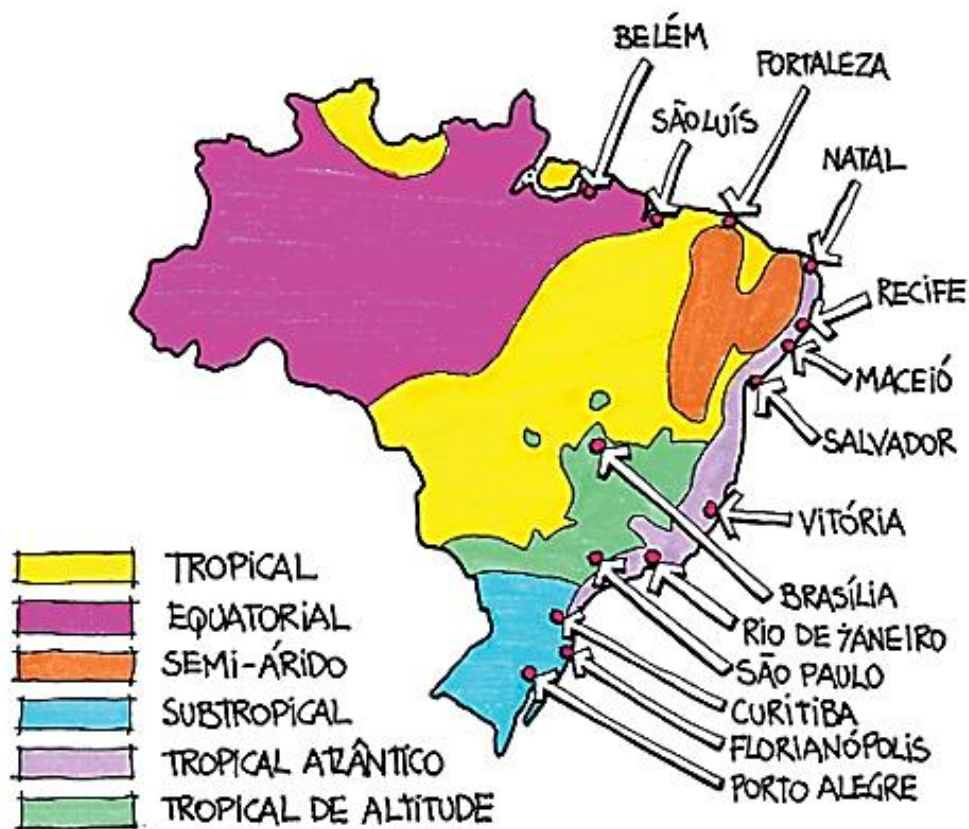
### 2.2.1 Tipos de Clima

O Brasil possui vários tipos climáticos devido a sua extensão territorial (Figura 13) e por estar situado, em quase sua totalidade, entre os trópicos de Câncer e de Capricórnio. De acordo com Soares & Santos (2016) cerca de 55% do território nacional está localizado na zona climática equatorial e 39% na zona tropical com predominância de climas quentes e com pequena variação da amplitude térmica. Cerca de 6% da região sul do país está situada na zona subtropical, com baixas temperaturas e maiores amplitudes térmicas. Portanto, Lamberts (2014), adotando a classificação de Köppen (1900), mostra que o Brasil pode ser classificado climaticamente em:

- a) Clima Tropical: nesse clima o verão costuma ser quente e chuvoso e, o inverno, quente e seco. As temperaturas médias são acima de 20°C com amplitude térmica anual de até 7°C e com índice pluviométrico variando entre 1.000 mm/ano a 1.500 mm/ano.
- b) Clima Equatorial: esse clima engloba toda a região amazônica com temperaturas médias entre 24°C e 26°C. A chuva, nessa região, é abundante e bem distribuída com índice pluviométrico maior que 2.500 mm/ano.
- c) Clima Semi-Árido: clima considerado mais seco do país com temperaturas médias muito altas (em torno dos 27° C), índice pluviométrico muito baixo, com valores inferiores a 800 mm/ano e a amplitude térmica anual baixa, por volta de 5°C.
- d) Clima Subtropical: nesse clima as temperaturas médias estão abaixo dos 20°C com amplitude térmica anual entre 9° e 13°C. O índice pluviométrico é alto variando entre 1.500 mm/ano e 2.000 mm/ano o que gera chuvas abundantes e bem distribuídas, e o inverno é rigoroso nas áreas mais elevadas, podendo ocorrer neve.
- e) Clima Tropical Atlântico: clima predominante nas regiões litorâneas do Brasil com temperaturas médias variando entre 18°C e 26°C. As chuvas são abundantes e a amplitude térmica anual varia de região para região.

- f) Clima Tropical de Altitude: As temperaturas médias se encontram entre 18°C e 22°C. As chuvas são mais abundantes no verão, com índice pluviométrico variando entre 1.000 mm/ano e 1.800 mm/ano e no inverno pode ocorrer geadas devido às massas frias oriundas da massa polar atlântica. Esse tipo de clima é predominante no norte do Paraná e no sul do Mato Grosso do Sul, se estendendo também nas regiões mais altas do planalto atlântico.

Figura 13 - Divisão climática do clima brasileiro.



Fonte: LAMBERTS et. al., 2014.

De acordo com Lamberts (2014), o clima pode ser dividido em três escalas: macroclima, mesoclima e microclima.

A escala macroclimática é originada e influenciada por fatores climáticos globais como a radiação solar, nuvens, temperatura, umidade e ventos (RUPP, 2009).

O mesoclima aborda áreas menores quando comparadas ao macroclima tais como: litoral, campo, florestas, vales, cidades e regiões montanhosas. É no mesoclima que as variáveis como a vegetação, a topografia, o tipo de solo e obstáculos naturais e artificiais influenciam nas condições locais do clima (LAMBERTS et. al., 2014).

O microclima é determinado e influenciado por fatores climáticos locais. Se caracteriza por estar condicionado a um ponto restrito como, por exemplo, cidade, bairro, rua, etc (RUPP, 2009). As escalas mesoclimática e microclimática estão mais próximas ao nível da edificação.

## 2.2.2 Clima na Cidade de Barreiras

O município de Barreiras/Bahia está situado na bacia do Rio Grande, no Oeste Baiano, em divisa com os municípios de São Desidério e Luís Eduardo Magalhães (Figura 14). O clima predominante na região é o Tropical sendo caracterizado por duas estações bem definidas: verão chuvoso e inverno seco, além de possuir também clima Semiárido (FLORES, 2011).

Por meio da obtenção de dados climáticos do município de Barreiras, durante o período de dez anos (2006 até 2016), tem-se que as temperaturas máximas médias ficaram em torno de 32°C a 34°C e as temperaturas mínimas médias ficaram entre 18°C e 21°C.

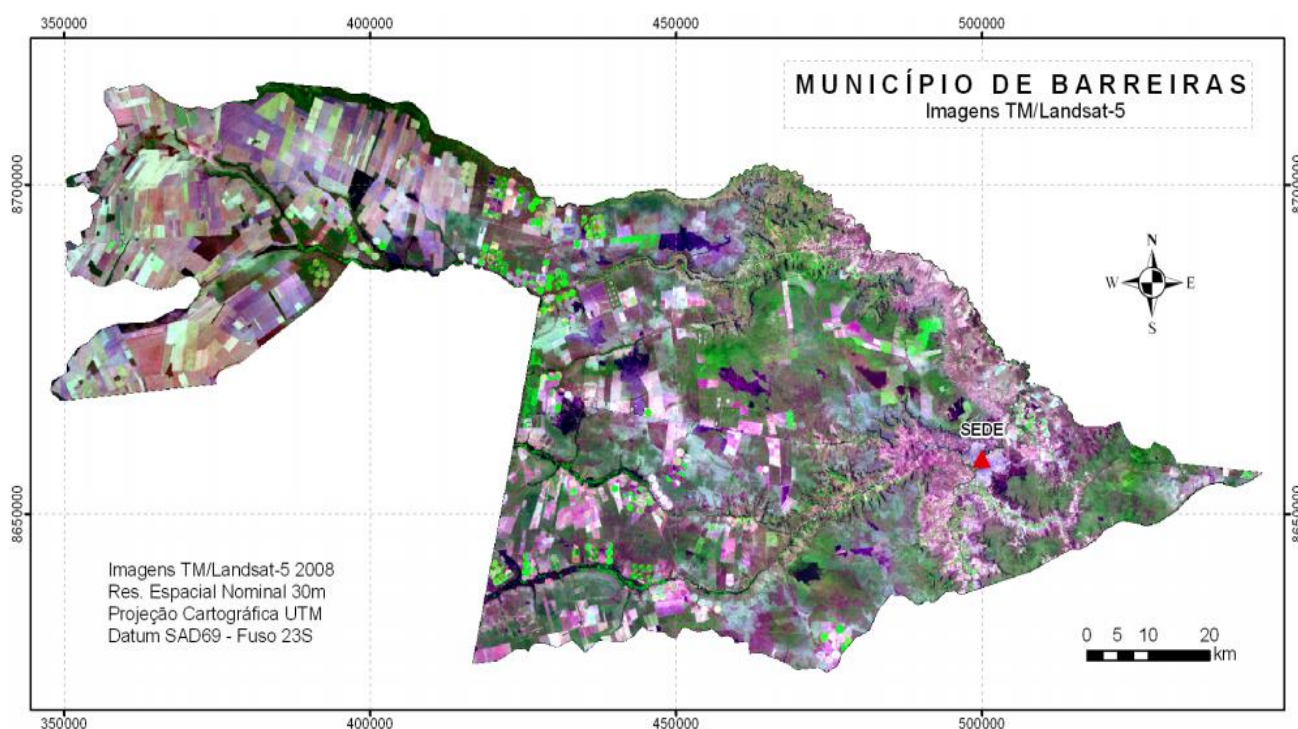
A tabela 1 mostra os dados climáticos referentes a velocidade do vento, a insolação, a precipitação total e as temperaturas médias máximas e mínimas, obtidos no site do INMET (<http://www.inmet.gov.br/portal/>).

Tabela 1 - Média dos dados climáticos do Município de Barreiras/Bahia.

Estação	Ano	Velocidade do Vento Média (mps)	Insolação Total (hs)	Precipitação Total (mm)	Temp. Máxima Média (°C)	Temp. Mínima Média (°C)
Barreiras- Bahia	2006	1,37	232,35	88,04	32,44	18,73
Barreiras- Bahia	2007	1,58	259,20	57,70	33,56	19,21
Barreiras- Bahia	2008	1,43	236,84	96,01	32,48	19,21
Barreiras- Bahia	2009	1,17	234,76	67,81	32,22	19,30
Barreiras- Bahia	2010	1,60	253,50	80,63	33,45	18,84
Barreiras- Bahia	2011	1,02	234,27	97,03	32,01	19,01
Barreiras- Bahia	2012	1,22	254,35	48,54	33,43	19,54
Barreiras- Bahia	2013	1,21	240,51	87,49	33,16	20,40
Barreiras- Bahia	2014	1,16	252,59	69,80	32,87	19,88
Barreiras- Bahia	2015	1,20	257,13	66,74	33,74	19,76
Barreiras- Bahia	2016	1,29	261,06	86,43	33,80	19,96

Fonte: INMET, 2017.

Figura 14 - Localização do município de Barreiras.



Fonte: GUADAGNIN et al., 2011.

### 2.3 Conforto Térmico

O conforto térmico refere-se ao estado mental que expressa a satisfação do homem com o meio que o circunda. A insatisfação ocorre quando não há equilíbrio entre o calor gerado pelo corpo e o calor perdido para o ambiente, sendo esse processo denominado de balanço térmico (LAMBERTS & DUARTE, 2016).

Loureiro (2003) afirma que a sensação do conforto térmico baseia-se nas trocas de calor que ocorrem entre o corpo humano e o ambiente, otimizando a capacidade de trabalho do homem, não o submetendo a fadiga ou ao estresse.

Conforme Lamberts (2016), o conhecimento em conforto térmico é de extrema importância, pois estabelece aspectos necessários para a formulação de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupações humanas, além de fornecer dados para uma análise térmica detalhada de um ambiente.

Para uma melhor compreensão do conforto térmico, o mesmo pode ser definido por variáveis humanas e por variáveis ambientais. As variáveis humanas consistem à satisfação do usuário em relação a condição térmica do ambiente de exposição, sendo definidas pela taxa metabólica e pelo índice de resistência térmica das vestimentas. Já as variáveis

ambientais consistem nas variáveis climáticas, como mencionadas no item 2.1 (TUBELO, 2011).

A taxa metabólica equivale à taxa de produção de energia do corpo (NBR 15220, 2003). Está relacionada com a intensidade da atividade física desenvolvida pelo corpo humano, sendo a unidade adotada o  $W/m^2$  ou  $met^1$ . A Figura 15 mostra dados em relação ao calor dissipado pelo corpo em função da atividade de um indivíduo (LAMBERTS, et.at, 2005).

O índice de resistência térmica de vestimentas consiste na resistência térmica da vestimenta à troca de calor sensível por condução, convecção e radiação entre a pele e a superfície externa da roupa (NBR 15220, 2003). A unidade adotada é o  $clo^2$ .

Portanto, o conforto térmico é determinado através da percepção de bem-estar do homem proveniente do ambiente ao qual o mesmo está exposto juntamente com as variáveis mencionadas.

Figura 15 - Taxa metabólica para diferentes atividades.

Atividade	Metabolismo ( $W/m^2$ )
Reclinado	46
Sentado, relaxado	58
Atividade sedentária (escritório, escola etc.)	70
Fazer compras, atividades laboratoriais	93
Trabalhos domésticos	116
Caminhando em local plano a 2 km/h	110
Caminhando em local plano a 3 km/h	140
Caminhando em local plano a 4 km/h	165
Caminhando em local plano a 5 km/h	200

Fonte: LAMBERTS et.al. , 2005.

## 2.4 Bioclimatologia

Entende-se por bioclimatologia o estudo da relação entre o homem com as condicionantes climáticas em uma determinada região (PINTO, 2008). Com o intuito de obter uma forma de interagir a arquitetura com o clima local, criou-se o Projeto

<sup>1</sup> 1(um) met = 58  $W/m^2$

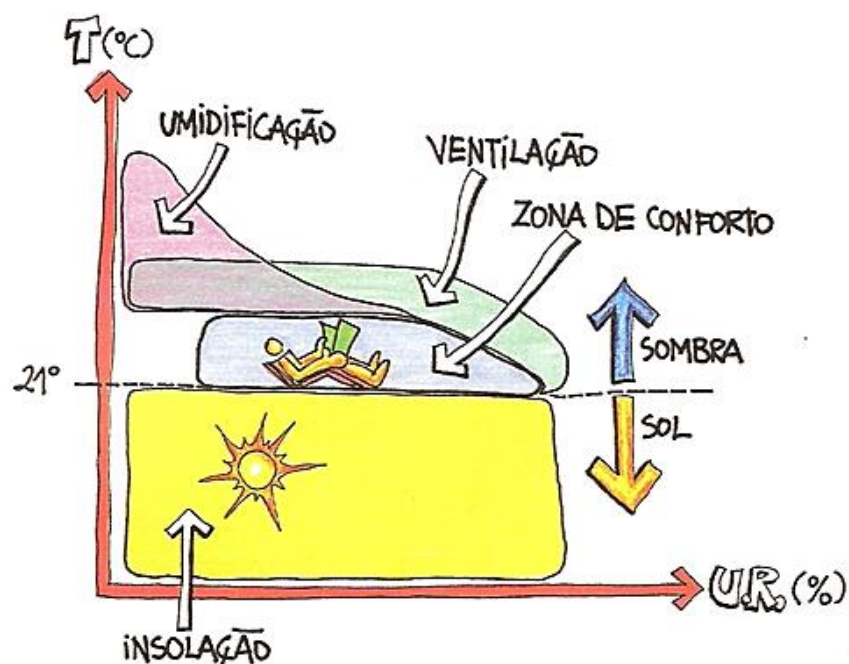
<sup>2</sup> 1(um) clo = 0,1555  $m^2C/W$  (Lamberts,2016).

Bioclimático também denominado de Arquitetura Bioclimática (LAMBERTS & DUARTE, 2016).

A bioclimatologia aplicada à arquitetura surgiu por volta da década de sessenta através dos irmãos Olgyay com o intuito de garantir o desempenho térmico adequado da edificação para proporcionar, aos usuários, o conforto térmico a partir da integração do clima com a arquitetura. Desta forma, eles criaram a carta bioclimática baseando-se no conforto térmico humano e apresentando propostas arquitetônicas referentes as características climáticas locais. Logo, a carta bioclimática de Olgyay (Figura 16) fornece estratégias de adaptação ao clima em função das condições externas.

A carta bioclimática de Olgyay tem como ordenada a temperatura do bulbo seco (temperatura do ar) e no eixo das abcissas representa a umidade relativa do ar. Além disso, a carta consiste de uma região denominada de zona de conforto, indicada no centro, e os elementos climáticos indicados com curvas ao redor que fornecem as medidas necessárias de correção para reestabelecer-se a sensação de conforto de qualquer ponto fora da área de conforto (BOGO et al., 1994). As cartas bioclimáticas possuem vários parâmetros climáticos tais como a umidade relativa do ar, temperatura de bulbo seco ou temperatura do ar, temperatura do bulbo úmido e a razão de umidade, que intervêm no conforto humano, de forma integrada (BELLO, 2013).

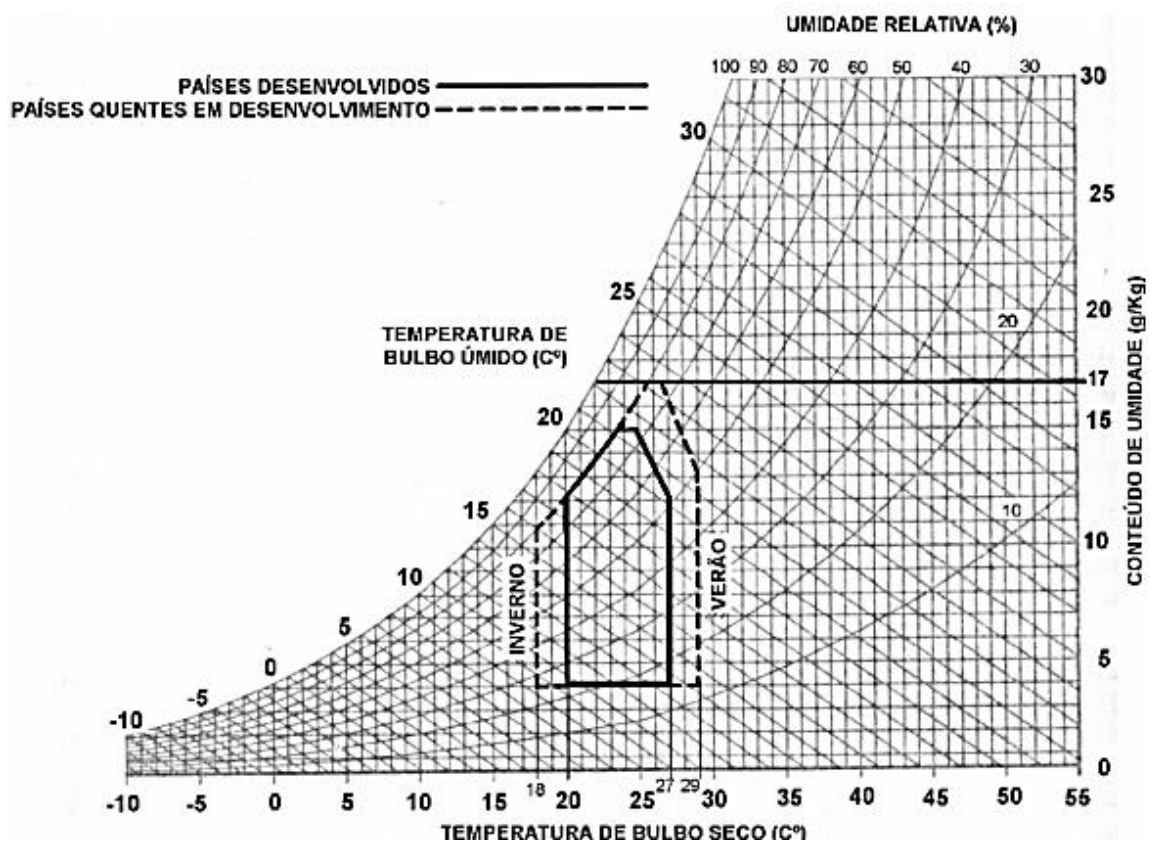
Figura 16 - Carta bioclimática de Olgyay.



A carta bioclimática de Givoni (1969) consiste em uma adaptação do diagrama bioclimático idealizado por Olgyay. Essa carta foi moldada sobre um diagrama psicrométrico a partir dos dados de temperatura do ar e umidade relativa, e consiste em propor estratégias construtivas para se obter adaptação da arquitetura em relação ao clima. Além disso, a carta bioclimática proposta por Givoni, é adequada para países em desenvolvimento e baseia-se em temperaturas internas ao edifício enquanto a carta bioclimática proposta por Olgyay é aplicável apenas para condições externas (LAMBERTS & DUARTE, 2016).

Cada área da carta bioclimática de Givoni (Figura 17) equivale a uma zona a ser adotada para favorecer o desempenho térmico da edificação.

Figura 17 - Carta bioclimática adaptada de Givoni.



Fonte: SILVA,1994.

### 2.4.1 Zona de Conforto

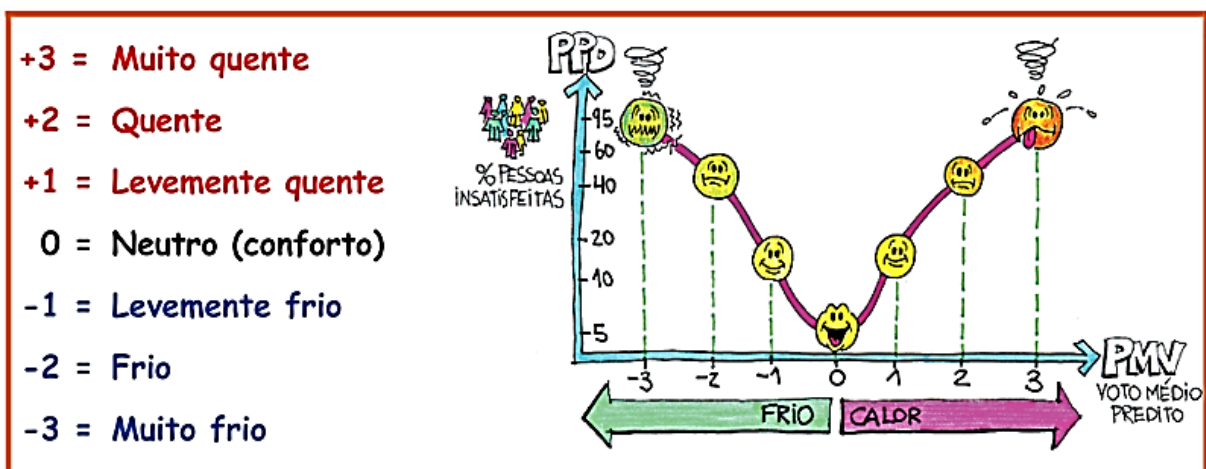
Um ambiente que se encontra na zona de conforto pode promover o conforto térmico à maioria dos usuários (BELLO, 2013).

Nas circunstâncias limitadas por esta zona existirá uma vasta possibilidade das pessoas estarem em conforto térmico em relação ao ambiente nas quais se encontram (LAMBERTS et al., 2014). Com o objetivo de avaliar o comportamento humano diante das variações térmicas são utilizados índices para estabelecer as zonas de conforto térmico delimitadas por meio de diagramas e cartas. Tais índices são contextualizados a seguir.

O Voto Médio Predito (PMV) foi formulado por Fanger em 1972 e consiste em um valor numérico que expressa a percepção do ser humano ao frio e ao calor. Para conforto térmico, o PMV é zero, para o calor é considerado positivo e para o frio o valor é negativo. Por meio do Voto Médio Predito (PMV), surgiu o conceito de Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD). A norma ISO 7730 (2005) recomenda que, em espaços de ocupação humana termicamente moderados, o PPD deve ser inferior a 10%, o que equivale a uma PMV entre  $-0,5$  a  $+0,5$  (Figura 18). O cálculo para determinar as variáveis PMV e PPD são bastante complexos sendo, dessa forma, utilizados programas específicos de computador como, por exemplo, Analys-CTS para facilitar os cálculos (LAMBERTS et al., 2014).

Nos países em desenvolvimento o organismo humano estará em conforto térmico em diversos limites de umidade relativa entre 20 a 80% e temperatura entre 18 e 29°C, segundo Givoni (LAMBERTS et al., 2014).

Figura 18 - Gráfico que relaciona PMV e PPD.



Fonte: LAMBERTS et.al., 2014.

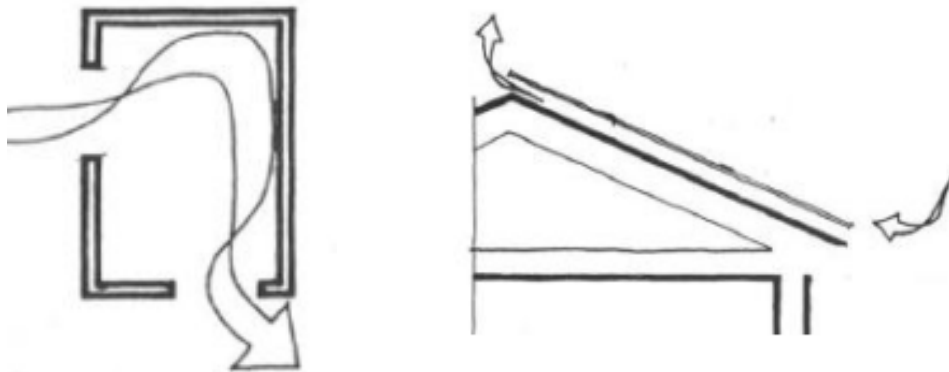
Portanto, a arquitetura bioclimática consiste em elaborar edificações aptas às condições climáticas proporcionando, aos usuários, ambientes termicamente agradáveis além de favorecer na redução do consumo de energia pelo fato de serem utilizados estratégias passivas de aquecimento e de resfriamento na edificação.

#### 2.4.2 Estratégias Bioclimáticas

As estratégias bioclimáticas tem sido muito utilizadas por projetistas em edificações com o intuito de atender conjuntamente à eficiência energética e às condições de conforto do usuário através da relação entre climatologia e a arquitetura. As principais estratégias bioclimáticas são contextualizadas a seguir.

- a) Ventilação Natural é uma estratégia de resfriamento natural da edificação por meio da renovação do ar interno (quente) pelo ar externo (frio). Desse modo, são utilizados estratégias arquitetônicas como a ventilação cruzada e ventilação da cobertura (Figura 19) (LAMBERTS & DUARTE, 2016).

Figura 19 - Estratégias para ventilação natural.



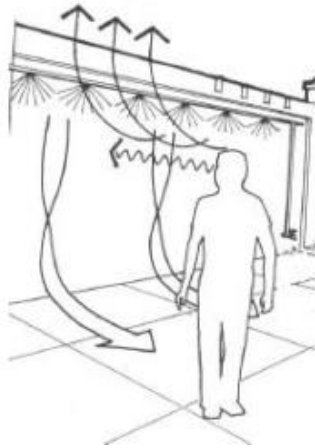
(a) Ventilação cruzada, em planta

(b) Ventilação pela cobertura

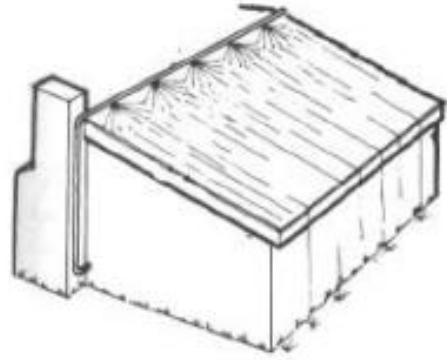
Fonte: LAMBERTS et.al., 2005.

- b) Resfriamento Evaporativo: consiste de um fenômeno que proporciona o aumento da umidade relativa do ar e a redução da temperatura do ambiente por meio de forma direta ou indireta (Figura 20) (LAMBERTS & DUARTE, 2016).

Figura 20 - Estratégias para resfriamento evaporativo.



(a) Resfriamento evaporativo direto

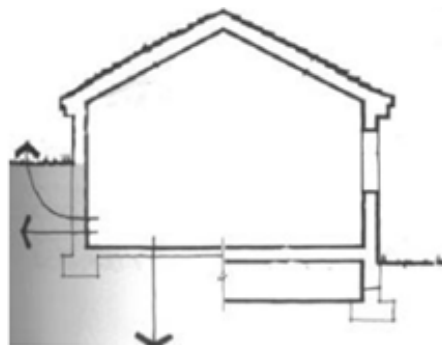


(b) Resfriamento indireto

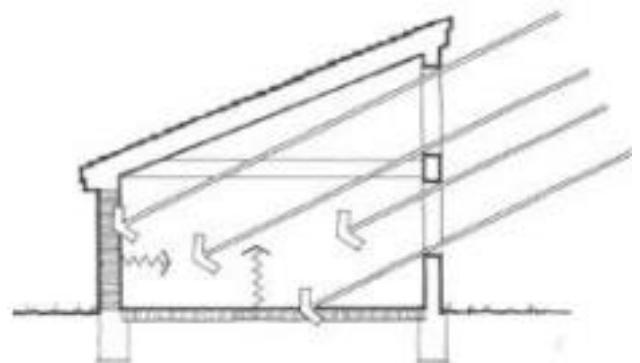
Fonte: LAMBERTS et.al., 2005.

- c) Inércia Térmica por Resfriamento e Aquecimento Solar: nestas estratégias são utilizados materiais de alta capacidade térmica que promovem o aquecimento e o resfriamento na edificação. Por meio do uso desses materiais, o ganho solar é armazenado nos elementos construtivos da edificação fazendo com que não haja sobreaquecimento dos ambientes internos durante o dia. Caso seja necessário o aquecimento no período da noite, o ganho solar armazenado será transferido para o interior da edificação (ALVIM, 2015). A Figura 21 mostra exemplos de inércia térmica por resfriamento e aquecimento solar.

Figura 21 - Inércia térmica por resfriamento (a) e por aquecimento solar (b).



(a) Solo como estratégia de inércia

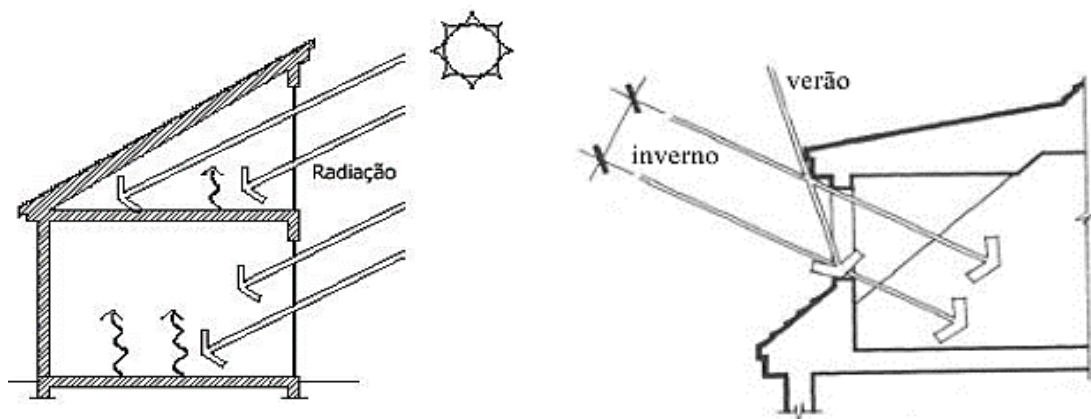


(b) Inércia térmica em paredes internas

Fonte: LAMBERTS et.al. 2005.

- d) Aquecimento Solar Passivo: estratégia utilizada para casos com baixa temperatura do ar. É recomendado que, as superfícies envidraçadas na edificação, estejam com orientação para o sol e nas fachadas, em que há ausência de insolação, as aberturas devem ser estreitas para evitar perdas de calor (Figura 22) (LAMBERTS & DUARTE, 2016).

Figura 22 - Estratégia aquecimento solar passivo.



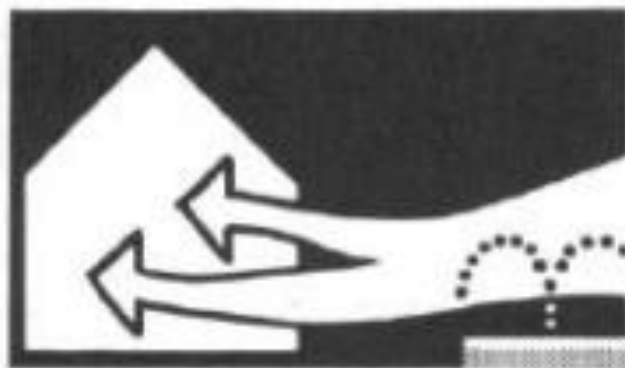
(a) Uso da radiação solar para aquecimento

(b) Vão que contribui ao controle da radiação

Fonte: LAMBERTS et.al. 2005.

- e) Umidificação: estratégia utilizada para temperaturas inferiores a 27°C e umidade relativa do ar abaixo de 20%. São utilizadas aberturas herméticas que pode manter a umidade, recursos simples como, por exemplo, recipientes com água que favorecem ao aumento da umidade relativa, dentre outros (Figura 23) (LAMBERTS, 2016).

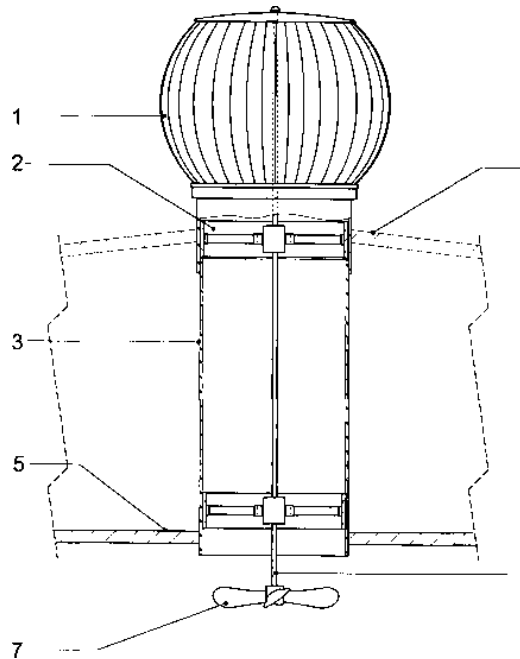
Figura 23 - Estratégia de umidificação com fontes de água.



Fonte: LAMBERTS et.al. 2005.

- f) Resfriamento Artificial: é recomendado quando as estratégias de ventilação, resfriamento evaporativo e massa térmica não fornecem aos usuários condições satisfatórias de conforto (LAMBERTS & DUARTE, 2016). A Figura 24 mostra um exemplo de resfriamento artificial.

Figura 24 - Estratégia de resfriamento artificial: exaustor.

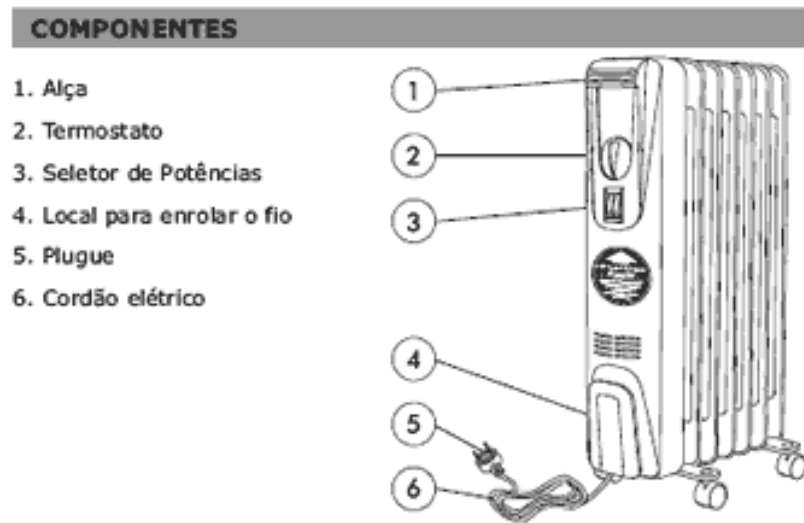


Fonte:<<https://www.escavador.com/patentes/215186/exaustor-eolico-giratorio-com-duto-extensor-e-helice-auxiliar>>.

Acesso em: 30/05/2017

- g) Aquecimento Artificial: é utilizado em locais extremamente frios. Além disso, recomenda-se a aplicação dessa estratégia quando há falhas na estratégia de aquecimento solar passivo o que contribui ao desconforto térmico. Para isso são utilizados isolamentos nas paredes e coberturas para evitar perdas de calor para o meio (Figura 25) (LAMBERTS & DUARTE, 2016).

Figura 25 - Aquecimento artificial



Fonte: < <http://www.fazfacil.com.br/manutencao/aquecedor-ambiente-oleo/> >.

Acesso em: 30/05/2017

### 2.4.3 Zoneamento Bioclimático

A Norma Brasileira NBR 15220 (2003) define zona bioclimática como a região geográfica homogênea em relação aos elementos climáticos.

O zoneamento bioclimático brasileiro subdivide o país em oito zonas bioclimáticas (Figura 26) sendo que, para cada uma dessas zonas, existe um conjunto de recomendações técnico-construtivas que tem por objetivo aprimorar o desempenho térmico das edificações através da sua melhor adequação climática. A divisão foi resultante das análises de dados climáticos obtidos desde 1961 até 1990. Tais dados climáticos consistem nas médias mensais da temperatura média mínima, temperatura média máxima e umidade relativa. Estes dados foram classificados utilizando a Carta Bioclimática de Givoni adaptada ao Brasil e, desta forma, foi determinado a classificação do zoneamento bioclimático brasileiro (NBR 15220, 2003).

O anexo B da norma NBR 15220 (2003) exhibe, de forma detalhada, o procedimento adotado na determinação do zoneamento bioclimático brasileiro. Além disso, na mesma norma, consta o anexo A que apresenta a relação de 330 cidades classificadas em relação ao clima predominante em cada região.

Figura 26 - Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: LAMBERTS et.al.,2014.

## 2.5 Transferência de Calor

### 2.5.1 Princípio da Conservação de Energia

O princípio da conservação de energia estabelece que toda energia não pode ser criada e nem destruída durante um processo termodinâmico, mas pode ser transformada. Assim, o princípio da conservação de energia ou balanço de energia em qualquer processo termodinâmico, pode ser expressa pelo seguinte enunciado: “A variação líquida (aumento ou diminuição) na energia total de um sistema durante um processo equivale à energia total recebida menos a energia total rejeitada pelo sistema durante o processo” (ÇENGEL & GHAJAR, 2012, p. 11).

Já Incropera & Dewitt (2008) expõem essa mesma lei afirmando que a energia total de um sistema é conservada e a única maneira da quantidade de energia em um sistema mudar é se a energia cruzar sua fronteira. Tais formas de fronteiras nas quais a energia pode cruzar, em um sistema fechado, é por transferência de calor através da fronteira e

por trabalho realizado pelo ou no sistema. Desta forma, tem-se que a Lei da Conservação de Energia é expressa por meio da Equação 1:

$$\Delta E = Q - W \quad \text{Equação (1)}$$

em que:

$\Delta E$ : variação da energia interna total (J);

$Q$ : calor transferido (J);

$W$ : trabalho efetuado pelo sistema (J).

### 2.5.2 Definição de Transferência de Calor

Transferência de calor é definida como sendo a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço. Logo, quando existir uma diferença de temperaturas em um meio ou entre meios, haverá, necessariamente, transferência de calor (INCROPERA & DEWITT, 2008).

A transferência de calor é estabelecida como sendo uma forma de energia que pode ser transferida de um sistema para o outro proveniente da diferença de temperatura entre eles (ÇENGEL & GHAJAR, 2012).

Os mecanismos da transferência de calor podem ser por condução, convecção e radiação, os quais serão retratados a seguir.

### 2.5.3 Mecanismos de Transferência de Calor

a) Transferência de calor por condução:

A transferência de calor por condução ocorre por diferenças de temperaturas entre corpos que se encontram em contato um em relação ao outro, de modo que o sentido do fluxo de calor é da maior para a menor temperatura (Figura 27) (TUBELO, 2011).

De acordo com Neto (2010), a transferência de calor por condução é regida pela Lei de Fourier conforme a Equação 2:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L} \quad \text{Equação (2)}$$

em que:

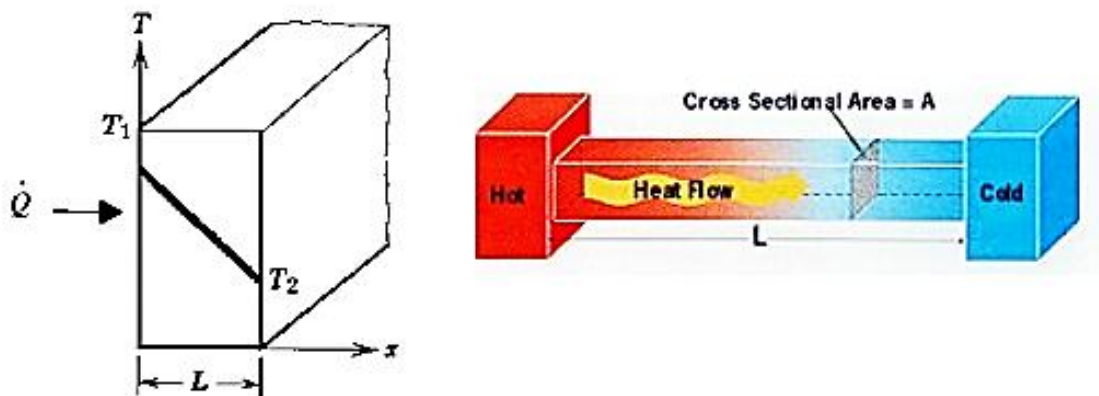
$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$  (W): transferência de calor por unidade de tempo;

$k$  (W/m.k): coeficiente de condutividade térmica característica de cada material;

$A$  (m<sup>2</sup>): área de contato entre as superfícies;

$L$  (m): comprimento do contato entre as superfícies.

Figura 27 - Condução de calor entre corpos com temperaturas diferentes ( $T_1$  e  $T_2$ ), separados por um material com seção  $A$  e de comprimento  $L$ .



Fonte: NETO, 2010.

A condutividade térmica é uma propriedade do material que representa a capacidade do mesmo em conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo. A Figura 28 relaciona valores típicos de condutividade térmica para alguns materiais.

Figura 28 - Valores da condutividade térmica para os diferentes tipos de materiais.

<b>CONDUTIVIDADES TÉRMICAS</b>	
<b>SUBSTÂNCIA</b>	<b><math>k</math> (W/m · K)</b>
<i>Metais</i>	
Alumínio	205,0
Latão	109,0
Cobre	385,0
Chumbo	34,7
Mercurio	8,3
Prata	406,0
Aço	50,2
<i>Diversos sólidos (valores típicos)</i>	
Tijolo (isolante)	0,15
Tijolo vermelho	0,6
Concreto	0,8
Cortiça	0,04
Feltro	0,04
Fibra de vidro	0,04
Vidro	0,8
Gelo	1,6
Lã mineral	0,04
Isopor	0,01
Madeira	0,12–0,04
<i>Gases</i>	
Ar	0,024
Argônio	0,016
Hélio	0,14
Hidrogênio	0,14
Oxigênio	0,023

Fonte: NETO, 2010.

Por meio da Figura 29 observa-se que os metais possuem alta condutividade térmica ( $k$ ) em relação aos outros materiais devido ao fato de que, nos metais, as moléculas estão fortemente ligadas o que facilita a propagação de calor.

b) Transferência de calor por convecção:

A transferência de calor por convecção ocorre devido a um gradiente de temperatura, em que o calor é transmitido através do movimento macroscópico de um fluido. É classificada em natural ou forçada. A convecção é do tipo natural quando os movimentos no fluido são provocados pela diminuição de densidade ao ser aquecido. Já na convecção forçada, o movimento no fluido é reforçado por um meio externo como, por exemplo, uma bomba ou um ventilador (PEREIRA, 2008).

Segundo Halliday e Resnick (2009), esse tipo de transferência de energia acontece quando um fluido, podendo ser a água ou o ar, entra em contato com um objeto em que a temperatura do mesmo é maior que a do fluido. A temperatura da parte do fluido que está em contato com o objeto aumenta e, na maioria das vezes, ela expande ficando menos densa. Como o fluido expandido é mais leve do que o fluido que o cerca, mais frio, a força de empuxo o faz subir. O fluido mais frio escoar para tomar o lugar do fluido mais quente que sobe e o processo pode continuar indefinidamente.

Conforme Moreira (2012), a transferência de calor por convecção é regida pela Lei de resfriamento de Newton conforme a Equação (3):

$$q = h \cdot A \cdot (T_S - T_\infty) \quad \text{Equação (3)}$$

em que:

$q$  (W): fluxo de calor;

$A$  (m<sup>2</sup>): área de troca de calor;

$h$  (W/m<sup>2</sup>.K): coeficiente de transferência de calor por convecção;

$T_S$  (K): temperatura da superfície;

$T_\infty$  (K): temperatura do fluido ao longe.

c) Transferência de calor por radiação:

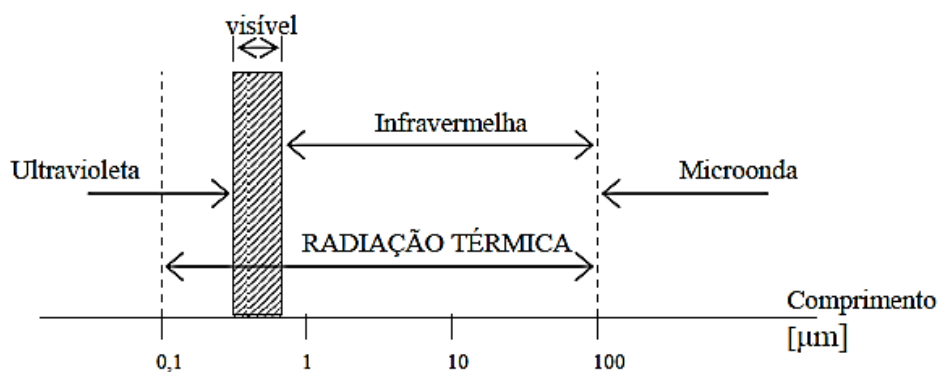
A transferência de calor por radiação ocorre através de ondas eletromagnéticas, como a luz visível, a radiação infravermelha e a radiação ultravioleta (YONG & FREEDMAN, 2008).

No processo de radiação, não é necessário a presença de um meio material para que a troca de calor seja realizada. Qualquer corpo, mesmo a uma temperatura ambiente, emite energia sob forma de radiação eletromagnética. Em um corpo a uma temperatura a 20°C, por exemplo, boa parte de sua energia é transportada por ondas infravermelhas com comprimentos de onda maior do que os da luz visível. Com o aumento da temperatura, os

comprimentos de onda passam a ter valores menores. A 800°C, um corpo emite radiação visível em quantidade suficiente para adquirir luminosidade própria e parecer vermelho, embora mesmo nessa temperatura a maior parte da energia seja transportada por ondas infravermelhas. A 3000°C, temperatura característica do filamento de uma lâmpada incandescente, a radiação contém luz visível necessária para que o corpo adquira coloração semelhante ao branco (YONG & FREEDMAN, 2008).

A onda eletromagnética, denominada de radiação térmica, se caracteriza em função do comprimento de onda. Os tipos de comprimentos de ondas eletromagnéticas estão contidos dentro de um intervalo denominado de espectro eletromagnético (Figura 29) que abrange raios X, gama e ultravioleta.

Figura 29 - Espectro eletromagnético dando ênfase ao intervalo do comprimento de onda da radiação térmica.



Fonte: ORDENES et.al.,2008.

A radiação, quando é interceptada por uma superfície, pode ser absorvida ( $\alpha$ ), refletida ( $\rho$ ) ou transmitida ( $\tau$ ). Essas variáveis estão relacionadas a um determinado comprimento de onda ( $\lambda$ ) e seguem o balanço de radiação de acordo com a Equação (4) (ORDENES, et.al., 2008).

$$\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} + \tau_{\lambda} = 1 \quad \text{Equação (4)}$$

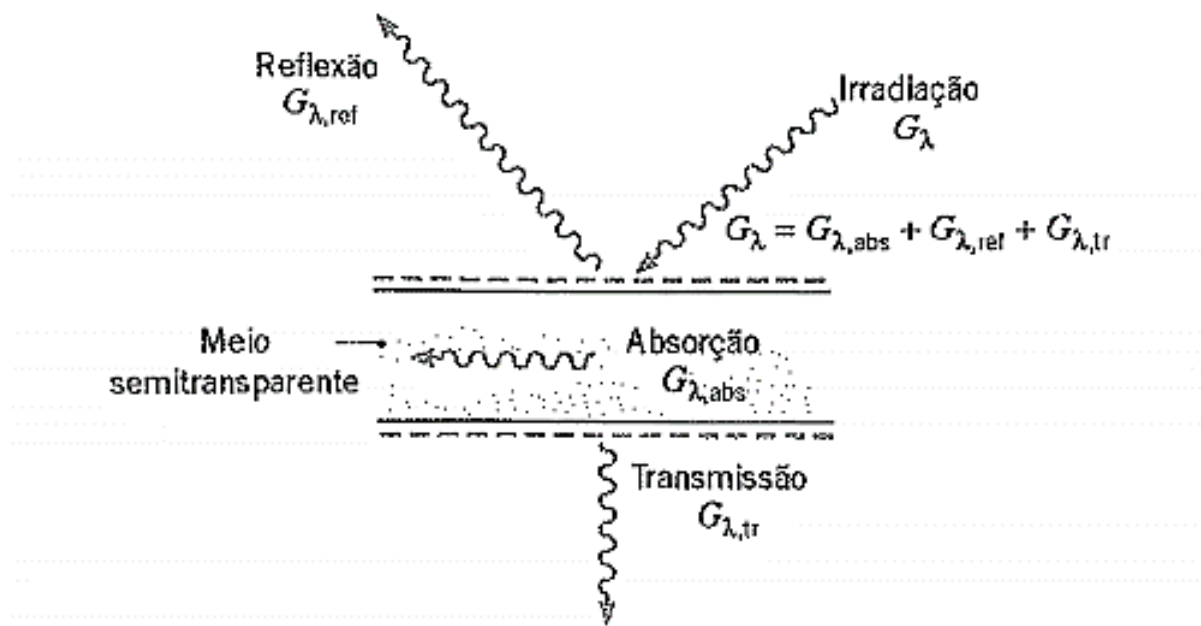
Segundo Cavalcante (2011), a absorvidade corresponde a parcela da irradiação absorvida por uma superfície. A refletividade consiste na parcela da radiação incidente que é refletida por uma superfície e a transmissividade é definida como a parcela da energia incidente que transpõe o material.

A irradiação equivale à radiação incidente em uma superfície. Quando a irradiação interage com os elementos semitransparentes como, o vidro, por exemplo, uma parcela da radiação é absorvida, outra parcela refletida e outra é transmitida ao material (Figura 30) (ORDENES et al., 2008). Portanto, a partir da Equação 5, tem-se que:

$$G_{\lambda} = G_{\lambda,Ref} + G_{\lambda,Abs} + G_{\lambda,Tr} \quad \text{Equação (5)}$$

em que  $G_{\lambda}$  consiste na irradiação total,  $G_{\lambda,Ref}$  é a irradiação refletida,  $G_{\lambda,Abs}$  é a parcela absorvida e  $G_{\lambda,Tr}$  é a transmitida (INCROPERA & DEWITT, 2008).

Figura 30 - Meio semitransparente associado aos processos de irradiação.



Fonte: INCROPERA, 2008.

No entanto, nos elementos opacos não há transmitividade, sendo que a percepção de cor está relacionada com a absorção e reflexão na superfície (INCROPERA & DEWITT, 2008).

## 2.5.4 Transferência de Calor em Edificações

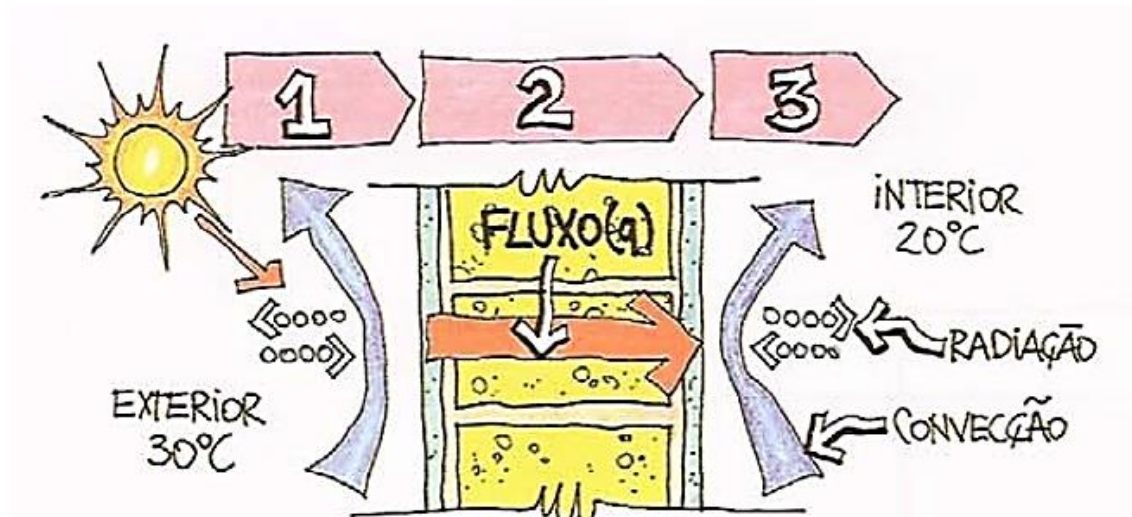
Em uma edificação, as trocas de energia entre os meios exterior e interior tem como cerne o envelope construtivo. No que diz respeito ao estudo dessa envoltória devem ser analisadas todas as possibilidades que contribuam para a resolução do problema. Um deles é a radiação solar, em que os materiais de construção se comportam de maneira distintas, sendo necessário distinguir o envelope construtivo em duas partes: os fechamentos opacos e os fechamentos transparentes. A principal diferença entre eles é justamente sua capacidade ou incapacidade de transmitir radiação solar para o ambiente interno (LAMBERTS et al., 2014).

Na construção civil, os exemplos de fechamentos opacos são as alvenarias, madeiras, coberturas e o concreto, sendo que em fechamentos transparentes o exemplo mais comum é o vidro (GASPARINI, 2005).

Em um fechamento opaco, a transmissão de calor ocorre por uma diferença de temperatura entre suas superfícies interior e exterior, sendo que o sentido do fluxo de calor será sempre da superfície mais quente para a mais fria (LAMBERTS et al., 2014).

A Figura 31 ilustra o processo de transmissão de calor em fechamentos opacos que ocorre em três fases distintas.

Figura 31 - Transmissão de calor nos fechamentos opacos.



Fonte: LAMBERTS et al., 1997.

Analisando a figura acima verifica-se que na primeira fase (1) a superfície externa do fechamento receberá calor do meio por convecção e radiação. A temperatura desta superfície depende basicamente da sua resistência superficial externa ( $R_{se}$ ) e, o valor dessa

variável, é em função da velocidade do vento. Na segunda fase (2), devido ao aumento da temperatura da superfície externa do fechamento, ocorrerá a transferência de calor entre esta superfície e a superfície interna que possui temperatura menor. Tal transferência de calor será por condução e a quantidade do fluxo de calor dependerá da condutividade térmica ( $k$ ) do material. Já na terceira fase (3) as trocas térmicas serão similares ao da primeira fase (1), ou seja, por convecção e radiação. Devido ao calor proveniente da temperatura superficial externa, a temperatura superficial interna ( $R_{si}$ ) do fechamento aumentará em comparação à temperatura do ar, sendo que as perdas de calor por convecção é em função da resistência superficial interna do fechamento e as perdas de calor por radiação depende da emissividade superficial do material ( $\epsilon$ ) (LAMBERTS, et al., 1997).

A radiação incidente no fechamento opaco terá uma fração refletida e outra absorvida, e o seu valor é em função da refletividade ( $\rho$ ) e da absortividade ( $\alpha$ ) do material. A absortividade é característico de cada material. Quanto mais alta for a absortividade do material maior será a radiação incidente absorvida pelo mesmo. Desta forma, da Equação 4, tem-se a Equação 6:

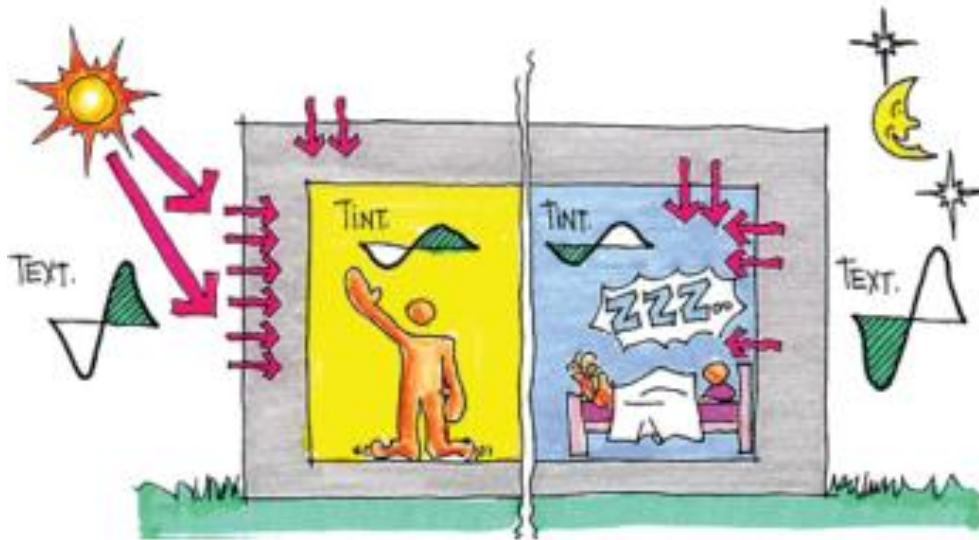
$$\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1 \quad \text{Equação (6)}$$

Conforme Lamberts, et al., (2014), a inércia térmica é uma característica importante dos fechamentos opacos. Quando o calor é transferido de uma face para a outra o material na qual a alvenaria é composta retém uma parte no seu interior, consequência da sua inércia térmica. Assim, quando o calor incide na superfície externa da parede de alvenaria em uma edificação durante o dia, o mesmo fica retido e, no período da noite, é transferido para o interior da edificação gerando uma redução na amplitude térmica do ambiente interno. O pico da temperatura acontecerá depois de a alvenaria ser submetida ao pico da temperatura externa, constituindo o tempo de retardo térmico (Figura 32).

Um aspecto de suma importância e que deve ser levado em consideração no que diz respeito a coberturas e paredes é a orientação solar. A melhor orientação para iluminação natural é a norte devido à incidência mais frequente da radiação solar direta. Em seguida, a orientação sul é a segunda melhor opção, pois recebe menos radiação solar direta e tem menos problemas de ofuscamento. Já a orientação leste e oeste são consideradas as piores,

pois recebem a radiação solar direta com maior intensidade no verão e menor intensidade no inverno (LAMBERTS et al., 2014).

Figura 32 - Amortecimento e retardo térmico na temperatura interior em relação a temperatura exterior em consequência da inércia térmica.



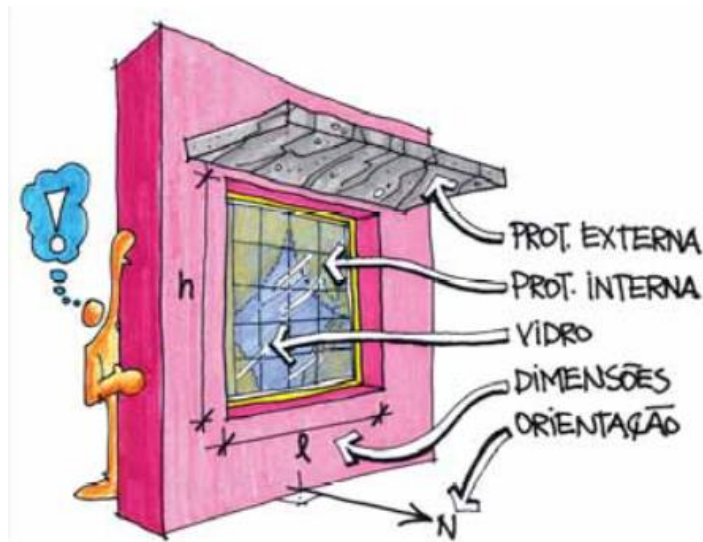
Fonte: LAMBERTS et al.,2014.

Nos fechamentos transparentes ocorrem três tipos de mecanismos de transferência de calor: a condução, convecção e radiação. Na condução e na convecção há possibilidade de controle das trocas de calor entre o interior e o exterior devido a abertura ou fechamento das janelas. Já a radiação, principal fator do processo de transferência de calor, depende da transmissividade do vidro ( $\tau$ ) e é diretamente transmitida para o interior da edificação, o que não ocorre com os fechamentos opacos. Além disso, existem variáveis que alteram o aporte de calor por meio da abertura tais como a orientação e tamanho da abertura, o tipo de vidro, uso de proteções solares internas e externas (Figura 33) (LAMBERTS et al., 2014).

A orientação e o tamanho da abertura influenciam na sua exposição ao sol. Caso a abertura tenha dimensões maiores, a quantidade de calor que entra e sai do ambiente será maior. Além disso, a orientação da fachada pode expor aberturas com as mesmas dimensões à quantidades distintas de calor solar e iluminação, pois a trajetória do sol é diferente para cada orientação e para cada latitude. Já o tipo de vidro pode controlar a radiação solar como: admitir ou bloquear a luz natural, permitir ou bloquear as perdas de

calor e permitir o contato visual entre o interior e exterior. Por fim, o uso de proteções solares em uma abertura reduz os ganhos térmicos, mas deve-se tomar cuidado com a iluminação natural para não ser prejudicada (LAMBERTS et al., 2014).

Figura 33 - Variáveis da abertura que influenciam no aporte de calor.



Fonte: LAMBERTS et al.,2014.

### 2.5.5 Transferência de Calor em Paredes

A transferência de calor em paredes ocorre por meio de três mecanismos básicos sendo a condução, convecção e radiação.

#### a) Condução:

A condução consiste no mecanismo de troca de calor que ocorre principalmente nos sólidos. Desse modo, considerando uma parede plana de espessura  $L$  e coeficiente médio de condutibilidade térmica  $k$ , mantendo constantes às temperaturas  $T_1$  e  $T_2$  das superfícies interna e externa, respectivamente, o mecanismo de condução em paredes é regida pela Lei de Fourier, citada no subitem 2.5.2 da página 36, sendo escrita conforme a Equação (7) (ÇENGEL & GHAJAR, 2012).

$$Q_{cond} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad \text{Equação (7)}$$

em que:

$Q_{cond}$  (w): é a taxa constante de transferência de calor por condução em paredes;

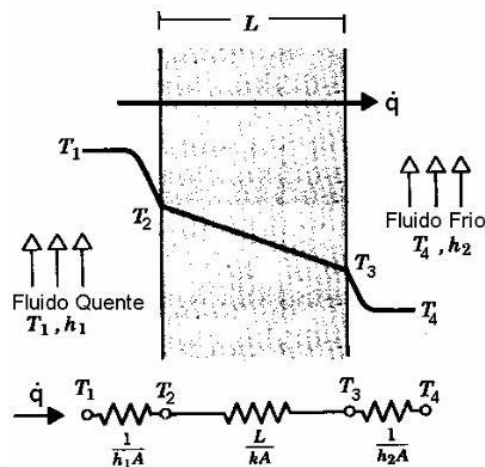
$A$  (m<sup>2</sup>): é a área constante da parede;

$k$ (W/m.K): coeficiente de condutividade térmica do material

$\frac{dT}{dx}$  : gradiente de temperatura (variação da temperatura em função da espessura da material).

A relação  $\frac{dT}{dx}$  é considerada constante, ou seja, em regime permanente a distribuição da temperatura numa parede plana é em linha reta (Figura 34) (ÇENGEL & GHAJAR, 2012).

Figura 34 - Variação da temperatura em função da espessura da parede.



Fonte: CUNHA e BASTOS, 2013.

A Figura 34 ilustra uma parede plana situada entre dos fluidos a diferentes temperaturas. O fluxo de calor é determinado por meio da Equação (8):

$$q = \frac{T_1 - T_4}{\frac{1}{h_1 \cdot A} + \frac{L}{k \cdot A} + \frac{1}{h_2 \cdot A}}$$

$$q = \frac{T_1 - T_4}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$q = \frac{(\Delta T)_{total}}{R_t} \quad \text{Equação (8)}$$

em que:

$q$  (W): fluxo de calor por convecção ou condução;

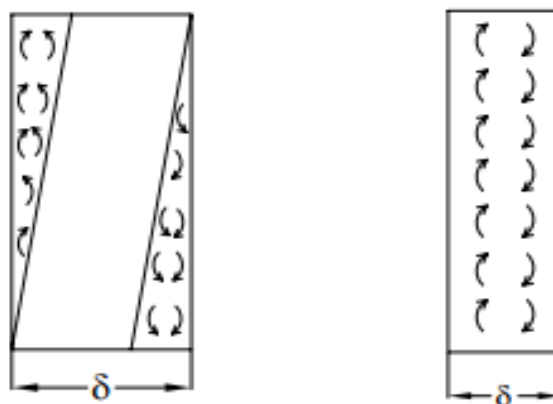
$\Delta T$  ( $^{\circ}C$ ): variação da temperatura entre os fluidos;

$R_t$  ( $\frac{W}{m^2} \cdot K$ ): resistência térmica da parede.

#### b) Convecção

De acordo com Silva (2008), a convecção consiste na movimentação das moléculas de um fluido, podendo ser natural ou forçada e, em uma parede, esse mecanismo se verifica nos alvéolos do bloco cerâmico por meio da agitação das moléculas de ar (Figura 35).

Figura 35 - Transmissão de calor por convecção por meio da agitação das moléculas do ar em cavidades.



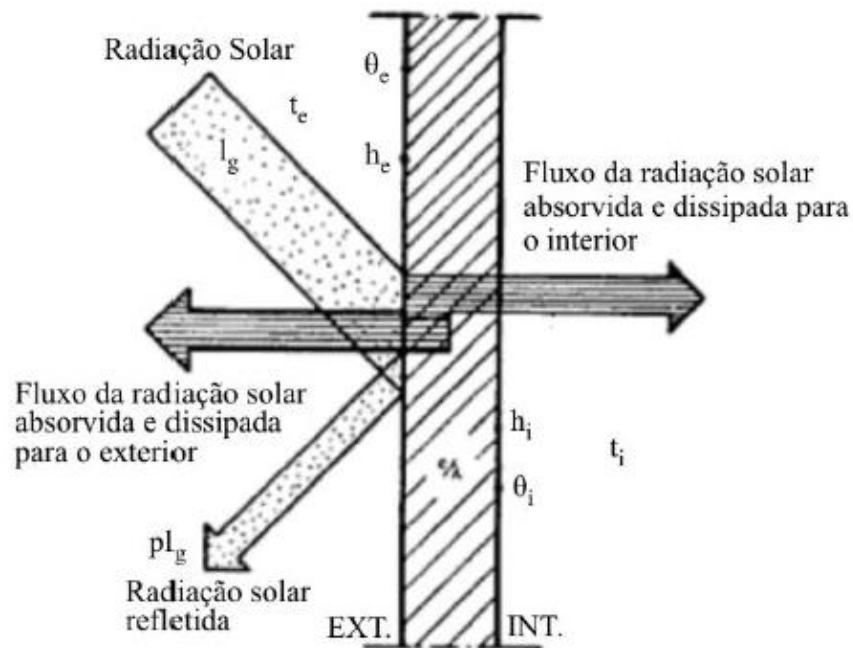
Fonte: SILVA, 2008.

#### c) Radiação:

A radiação é um mecanismo de troca de calor emitida por um corpo a uma determinada temperatura finita. Nos corpos opacos, como em paredes, a transmissão de energia térmica é um fenômeno superficial, ou seja, a energia do campo de radiação é transmitida através de ondas eletromagnéticas, não sendo necessário a presença de um meio material (sólido ou líquido) para que ocorra as trocas térmicas (SILVA, 2008).

A parede de alvenaria é um tipo de fechamento opaco na qual não existe transmissão de energia térmica, ou seja, a irradiação somente pode ser absorvida ou refletida (ORDENES et al., 2008). A Figura 36 ilustra o processo de transferência de calor em paredes por radiação.

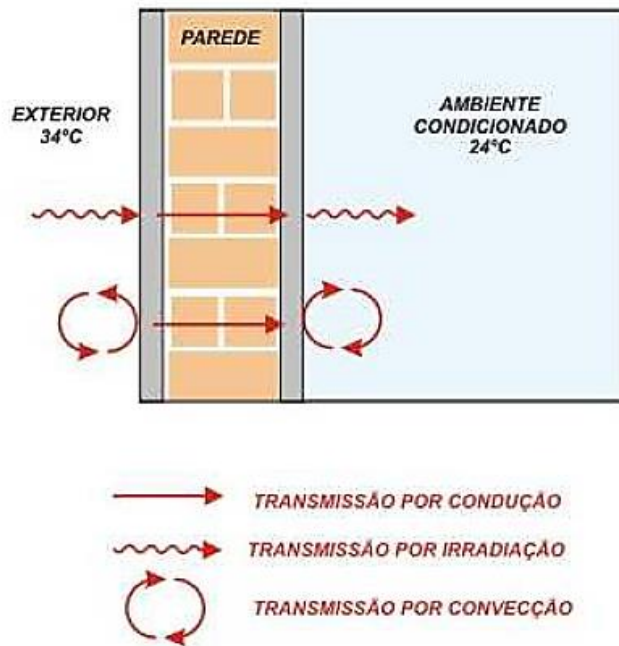
Figura 36 - Radiação térmica em parede.



Fonte: FROTA e SCHIFFER, 2001.

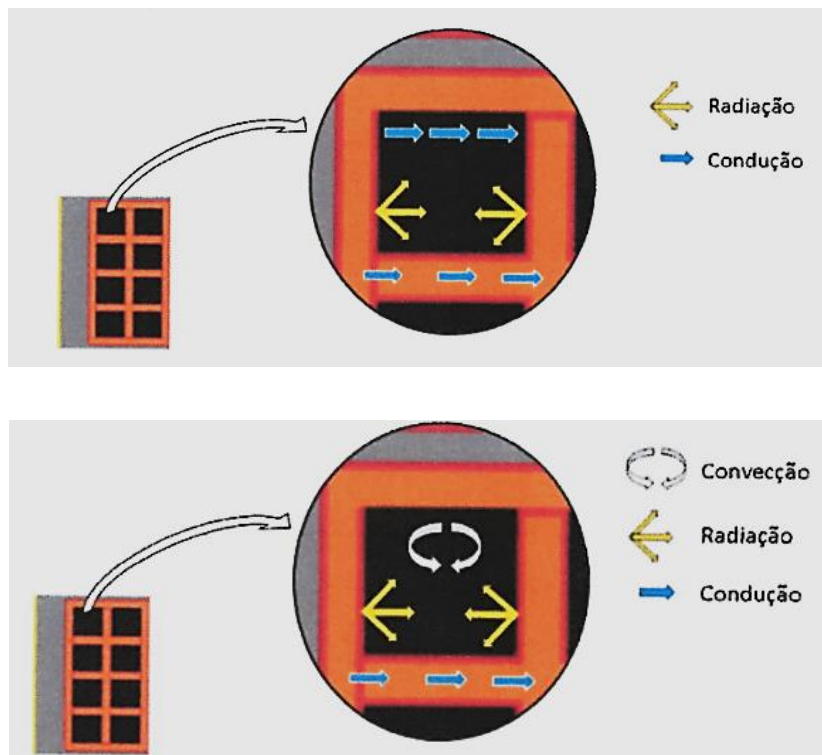
A transferência de calor em paredes aparece combinada, ou seja, a radiação, a condução e a convecção atuam em conjunto. Assim, a transferência de calor entre a parede e o meio externo ocorre por convecção e radiação enquanto que no interior da parede ocorre por condução (Figura 37). Além disso, nos alvéolos, ocorre também a transferência de calor combinada, podendo ter simultaneamente convecção e radiação ou condução e radiação (Figura 38). Já nos septos a transferência de calor ocorre por condução (SILVA, 2008).

Figura 37 - Mecanismos de transferência de calor atuantes em uma parede.



Fonte: RUPP, 2009.

Figura 38 - Transferência de calor nos alvéolos.



Fonte: TANAKA, 2016.

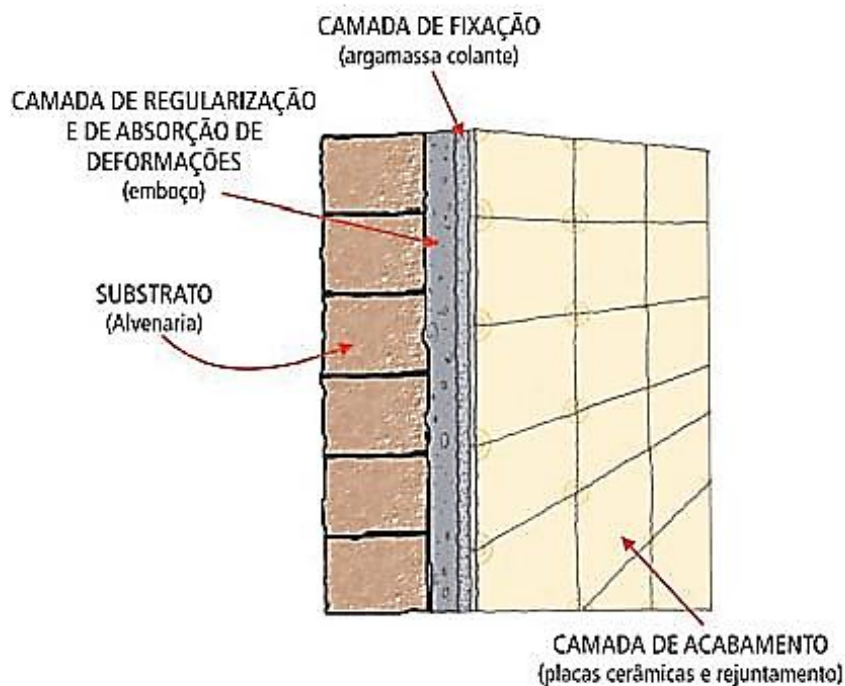
## 2.6 Propriedades dos Componentes de Paredes de Alvenaria

Alvenaria pode ser definida como sendo um sistema construtivo formado por um conjunto coeso e rígido de tijolos ou blocos (elementos de alvenaria) que são unidos entre si por meio da argamassa de assentamento, em fiadas horizontais sobrepostos entre si (MARINOSKI, 2011).

Alvenarias de vedação são paredes constituídas pelo assentamento de tijolos maciços ou blocos vazados com argamassa cuja função é suportar apenas seu peso próprio e cargas de ocupação tais como armários, prateleiras, dentre outros (THOMAZ et al.,2009).

As paredes de alvenaria são compostas, além do tijolo ou bloco, pela argamassa de assentamento, argamassa de emboço, argamassa colante e revestimento cerâmico (Figura 39).

Figura 39 - Composição de parede de alvenaria.



Fonte: < <https://construfacilrj.com.br/o-que-e-o-revestimento-ceramico/> >.

Acesso em: 04/06/2017

No sistema de vedação vertical existem vários tipos de blocos. No Brasil, os blocos mais utilizados em paredes de alvenaria são os cerâmicos e os de concreto. Tais elementos serão descritos a seguir:

a) Bloco Cerâmico:

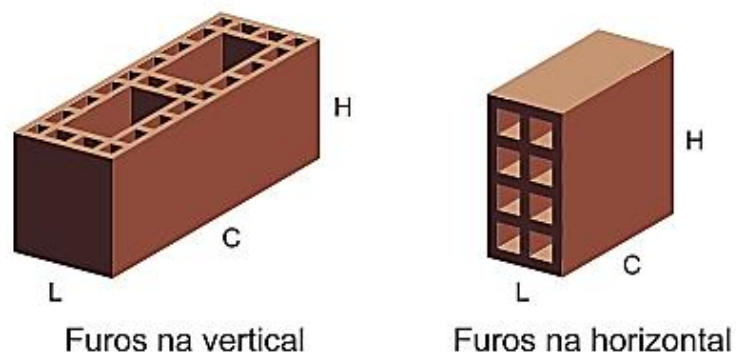
O bloco cerâmico consiste em um componente vazado, que integra alvenarias de vedação intercaladas nos vãos de estruturas de concreto armado, aço e outros. Podem ser empregados com furos dispostos na horizontal resistindo, dessa forma, ao peso próprio e pequenas cargas de ocupação, e na vertical (Figura 40) (THOMAZ et al., 2009).

É de extrema importância que, antes da sua utilização, os blocos cerâmicos atendam aos requisitos físicos e mecânicos propostos na NBR 15270 (2005) – Componentes Cerâmicos, para maior qualidade e desempenho das alvenarias (SANTOS, 2012).

As dimensões de fabricação como largura (L), altura (H) e comprimento (C) são padronizadas. Desta forma a largura mínima é 9 cm e a máxima de 24 cm, a altura mínima é 9 cm e a máxima de 24 cm e o comprimento do bloco varia entre 19 cm a 39 cm.

As principais vantagens da utilização dos blocos cerâmicos em paredes de alvenaria é que os mesmos tem melhor desempenho térmico, menor peso o que facilita a execução e é mais barato em relação ao bloco de concreto e tijolo. Entretanto, possuem baixa resistência à compressão, o que impede de serem aplicados em paredes estruturais, são menos aderentes à argamassa o que requer maior quantidade de revestimento e não são regulares geometricamente quando comparados com bloco de concreto e tijolo.

Figura 40 - Tipos de blocos cerâmicos e suas devidas dimensões.



Fonte: THOMAZ et al., 2009.

b) Bloco de Concreto:

O bloco vazado de concreto é definido como um componente da alvenaria sem função estrutural cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta NBR 6136 - Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria (ABNT, 2007).

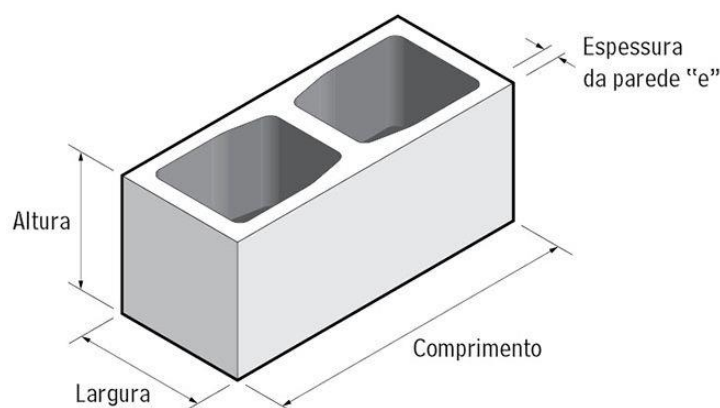
Os blocos de concreto são fabricados com cimento, agregados e água, podendo ou não utilizar aditivos. A cura deve assegurar a homogeneidade e integridade em todo o processo construtivo (OLIVEIRA, 2013). Além disso, os blocos de concreto utilizados em paredes de alvenaria devem seguir os requisitos da norma NBR 6136 (2007) para possibilitar o aumento da vida útil e minimizar os custos de execução e manutenção das edificações.

Possuem várias dimensões de fabricação, sendo as mais comuns os blocos da família 09 x 19 x 39 cm, blocos da família 14 x 19 x 39 cm e blocos da família 19 x 19 x 29 cm. Podem ser classificados em classe A, B, C e D, sendo que a classe D é para uso em paredes acima do nível do solo, ou seja, sem função estrutural (OLIVEIRA, 2013).

As principais vantagens do bloco de concreto, em relação ao bloco cerâmico e tijolo, e que o mesmo possui medidas mais uniformes, economia do material (parede com bloco de concreto é mais plana que a do bloco cerâmico), dispensa chapisco e revestimento em alguns casos e redução do tempo da obra (SANDES, 2008).

A Figura 41 ilustra o bloco de concreto com suas respectivas dimensões.

Figura 41 - Dimensões de fabricação para blocos de concreto.



Fonte: <<http://construnormas.pini.com.br/engenharia-instalacoes/vedacoes-revestimentos/bloco-vazado-de-concreto-simples-para-alvenaria-estrutural-340438-1.aspx>>.  
Acesso: 04/06/2017

c) Argamassa de Assentamento:

Material composto por um ou mais aglomerantes (cimento e cal), por um agregado miúdo (areia) e água necessária para formar uma mistura plástica de boa trabalhabilidade. A principal função da argamassa é transferir, de modo uniforme, as tensões entre os blocos além de compensar as irregularidades e as variações dimensionais dos mesmos. Além disto, a argamassa une as unidades de alvenaria e ajuda as mesmas a resistirem aos esforços laterais (RICHTER, 2007).

Segundo Richter (2007), a argamassa pode ser do tipo convencional ou industrial. A do tipo convencional é dosada em obra, o seu traço é preestabelecido e tem como função unir os blocos. É constituída por cimento, areia, cal e água. Já a do tipo industrializada é mais uniforme, homogênea e deve seguir as recomendações estabelecidas na norma NBR 13281 (2005) – Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos – Requisitos.

O traço da argamassa deve se basear nas diferentes exigências de aderência, impermeabilidade da junta, poder de retenção de água, plasticidade requerida para assentamento e modulo de deformação. Além disto, devem ser consideradas as características dos materiais a serem utilizados em obra e dos processos executivos a serem adotados (THOMAZ et al., 2009).

d) Chapisco, Emboço e Reboco:

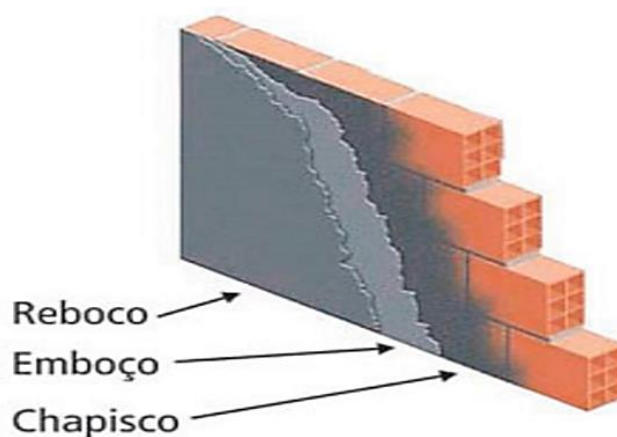
De acordo com Coutinho, Tristão, & Pretti (2013), o revestimento tem por finalidade garantir um acabamento adequado à alvenaria, conferindo-lhe resistência mecânica, protegendo-a contra a umidade e agentes agressivos. São divididos em chapisco, emboço e reboco, conforme esquematizado na Figura 42.

O chapisco consiste na primeira camada aplicada nos blocos cerâmicos. É constituído de argamassa e tem por função garantir que o revestimento que vem a seguir possua maior aderência ao substrato. Além disso, sua espessura deve ser fina, em torno de 3 a 5 mm, e uniforme (COUTINHO et al., 2013).

O emboço é a camada de revestimento de regularização proporcionando uniformidade à superfície, corrigindo as irregularidades, prumos, alinhamento dos painéis. É constituído de uma argamassa grossa de cal e areia no traço 1:3 e sua espessura não deve ser superior a 1,5 cm (ZULIAN et al., 2002).

Por fim, o reboco é a última camada antes da massa corrida ou gesso. Sua função consiste na regularização de qualquer imperfeição ocorrida na etapa da aplicação do emboço (COUTINHO et al., 2013).

Figura 42 - Camadas de revestimento em paredes de alvenaria de bloco cerâmico.



Fonte: FILHO et al, 2001.

Os materiais e elementos construtivos que compõem a alvenaria portam-se termicamente em função de suas propriedades térmicas. Na Tabela 2 são apresentadas algumas propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados em paredes como a densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ).

Tabela 2 - Propriedades térmicas dos materiais construtivos aplicadas em paredes.

Material	Propriedades dos Materiais		
	Densidade de massa aparente ( $\rho$ )	Condutividade Térmica ( $\lambda$ )	Calor específico ( $c$ )
	[kg/m <sup>3</sup> ]	[W/(m.K)]	[J/(kg.K)]
Argamassa de Assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto (bloco e parede)	2400	1,75	1,00
Argamassa de Emboço	2000	1,15	1,00
Tijolo Cerâmico	1600	0,90	10,92

Fonte: NBR 15220, 2003.

## **2.7 Desempenho Térmico**

O desempenho térmico é o resultado do conjunto de fatores tais como as condições climáticas, condições de implantação, condições de uso da edificação, ou seja, depende das características do local da obra e da edificação. As condições climáticas são a temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento e a radiação solar. As condições de implantação são a latitude, longitude e a orientação solar, e as condições de uso baseiam-se no número de ocupantes, quantidades de calor geradas no interior da edificação, dentre outros.

O adequado desempenho térmico proporciona conforto dos usuários garantindo-lhes, dessa forma, condições favoráveis para o sono e atividades normais em uma edificação, além de reduzir o consumo de energia. A avaliação de desempenho pode ser realizada por meio das propriedades térmicas das fachadas e das coberturas ou por simulação computacional em que são relacionados simultaneamente todos os elementos e todos os fenômenos intervenientes (CIBC, 2013).

De acordo com a norma NBR 15220 (2003), a análise do desempenho térmico de uma edificação pode ser realizada na fase de projeto ou após da conclusão da construção. Quando a edificação já está concluída, a análise pode ser feita por meio de medições in-loco de variáveis representativas do desempenho ou através de cálculos. Na fase do projeto a análise é realizada por simulação computacional ou averiguando o cumprimento de diretrizes construtivas.

### **2.7.1 Parâmetros do Desempenho**

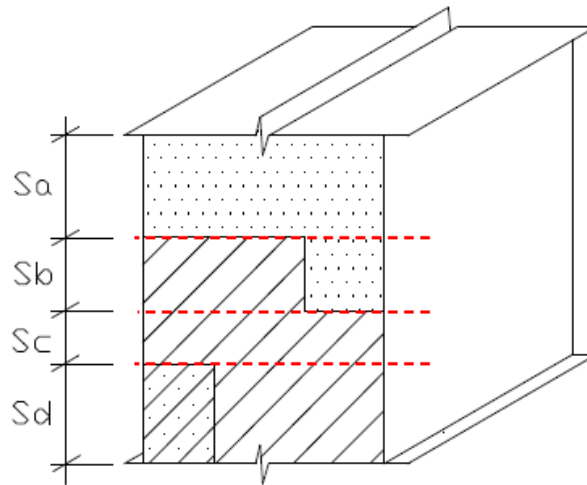
Os parâmetros de desempenho serão determinados com base na norma NBR 15220 (2003).

#### **a) Resistência Térmica**

A resistência térmica (R) é a capacidade que o material possui em resistir à passagem do calor. É calculada de acordo com as camadas que constituem o material, sendo que as mesmas podem ser homogêneas ou heterogêneas (Figura 43).

Para uma camada homogênea de material sólido, utiliza-se a Equação 8 para o cálculo da resistência térmica do mesmo, sendo que o valor da espessura do material é um dado de projeto e a sua condutividade térmica é obtida no anexo B da NBR 15220 (2003) (LAMBERTS et al., 2014).

Figura 43 - Seções (Sa, Sb, Sc, Sd) de um componente com camadas homogêneas e heterogêneas.



Fonte: NBR 15220, 2003.

Na Figura 28 da página 38, mostra os valores da condutividade térmica de alguns materiais.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \text{Equação (8)}$$

em que:

$R$ : resistência térmica do material ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ );

$e$ : espessura do material (m);

$\lambda$ : condutividade térmica do material ( $\text{W}/\text{m.K}$ ).

De acordo com a NBR 15220 (2003), a resistência térmica de um componente plano de camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor pode ser determinada por meio da Equação 9 e pela Equação 10.

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn} \quad \text{Equação (9)}$$

em que:

$R_t$ : resistência térmica de superfície a superfície ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ );

$R_{t1}, R_{t2}, \dots, R_{tn}$ : resistências térmicas de n camadas homogêneas ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ );

$R_{ar1}, R_{ar2}, \dots, R_{arn}$ : resistências térmicas das n câmaras de ar ( $m^2K/W$ ).

Os valores das resistências térmicas de n camadas homogêneas  $R_{t1}, R_{t2}, \dots, R_{tn}$ , são calculadas por meio da Equação 9.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad \text{Equação (10)}$$

em que:

$R_T$ : resistência térmica total do material ( $m^2K/W$ );







$R_{se}$  e  $R_{si}$ : resistências superficiais externa e interna ( $m^2K/W$ );

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

A resistência térmica superficial consiste nos efeitos das trocas de calor por radiação e convecção entre a superfície do material e o meio que o circunda. A resistência superficial é considerada externa quando a superfície analisada está limitando o material e o meio exterior, enquanto que a resistência superficial é interna quando a superfície limita o material e o meio interno (LAMBERTS et al., 2014).

Ainda baseando na norma, a resistência térmica superficial varia em relação a fatores como a emissividade ( $\epsilon$ ), velocidade do ar sobre a superfície e temperaturas da superfície, do ar e superfícies próximas. Os valores da resistência térmica superficial constam no anexo A da norma NBR 15220 (2003). A Tabela 3 mostra esses valores.

Tabela 3 - Valores da resistência térmica superficial.

Rsi ( $m^2.K$ ) /W			Rse ( $m^2.K$ ) /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: NBR 15220, 2003.

As câmaras de ar são utilizadas para reduzir consideravelmente as trocas de calor em um fechamento opaco (paredes, coberturas ou pisos) utilizando-se materiais com condutividades muito baixas ou construindo fechamentos com múltiplas camadas, sendo que uma das camadas pode ser uma câmara de ar. Dentro da câmara de ar, as

trocas de calor são por convecção e radiação. A Figura 44 mostra uma parede dupla com câmara de ar (LAMBERTS et al., 2014).

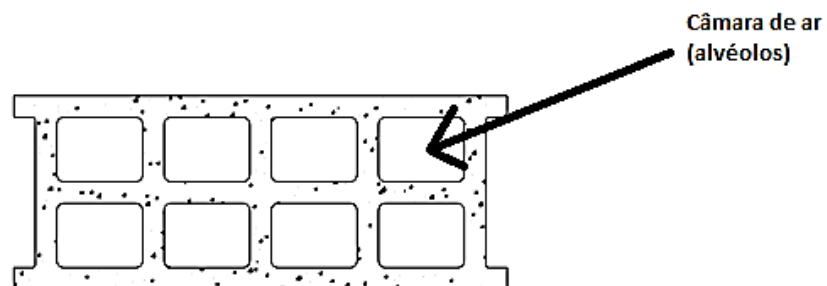
Figura 44 - Representação de uma parede dupla com câmara de ar.



Fonte: LAMBERTS et al., 2014.

Os blocos de alvenaria também possuem câmaras de ar em seu interior denominados de alvéolos. Estes espaços de ar tendem a diminuir consideravelmente a transmissão térmica (Figura 45). Como mencionado no subitem 2.5.5 da página 45 deste trabalho, a transferência de calor nos alvéolos ocorre por meio da convecção e radiação ou condução e radiação. Sabe-se ainda que a condução e a convecção ocorre pela transmissão de calor através das moléculas de ar. Logo, uma maneira de reduzir a transferência de calor por convecção e condução nos alvéolos (câmaras de ar), é a criação de vácuo nestes espaços. No que diz respeito à radiação, pode-se colocar materiais com características refletoras (baixa emitância) para diminuir a transmissão de calor (SILVA, 2008).

Figura 45 - Secção transversal de um bloco cerâmico com as respectivas câmaras de ar.



Fonte: SILVA, 2008.

Segundo a NBR 15220 (2003), para componentes constituído de camadas homogêneas e heterogêneas, a resistência térmica é obtida através da Equação 11:

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad \text{Equação (11)}$$

em que:

$R_t$  (m<sup>2</sup>K/W): resistência térmica de superfície a superfície

$R_a, R_b, \dots, R_n$  (m<sup>2</sup>K/W): resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção (a,b,...,n).

$A_a + A_b + \dots + A_n$  (m<sup>2</sup>): são as áreas de cada seção.

Os valores das resistências térmicas das câmaras de ar não ventiladas ( $R_{ar}$ ), constam na norma NBR 15220 (2003) no anexo B. A Tabela 4 mostra esses valores.

Tabela 4 - Valores da resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas.

Natureza da superfície câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar (cm)	Resistência Térmica $R_{ar}$ (m <sup>2</sup> .K/W)		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizon tal	Ascende nte	Descende nte
		⇔	⇑	⇓
Superfície de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,14	0,13	0,15
	2,0 < e ≤ 5,0	0,16	0,14	0,18
	e > 50	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\epsilon < 0,2$	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,29	0,23	0,29
	2,0 < e ≤ 5,0	0,37	0,25	0,43
	e > 50	0,34	0,27	0,61

Fonte: NBR 15220, 2003.

#### b) Capacidade Térmica

A capacidade térmica consiste de uma propriedade dos materiais construtivos na qual indica a maior ou menor capacidade que os mesmos possuem em reter calor (LAMBERTS et al., 2014).

Conforme a NBR 15220 (2003), o cálculo da capacidade térmica de um componente plano constituído de camadas homogêneas é obtido por meio da Equação 12:

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad \text{Equação (12)}$$

em que:

$C_T$  (kJ/m<sup>2</sup>.K): capacidade térmica;

$e_i$ : espessura térmica do material (m);

$c_i$ : calor específico do material (kJ/kg.K);

$\rho_i$ : densidade do elemento (kg/m<sup>3</sup>);

$n$ : número de camadas de elementos.

Os valores do calor específico e da densidade térmica do material constam na Tabela 2 da página 54 deste trabalho.

Conforme a NBR 15220 (2003), para componentes com camadas homogêneas e heterogêneas a capacidade térmica é determinada de acordo com a Equação 13:

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad \text{Equação (13)}$$

em que:

$C_T$  (kJ/m<sup>2</sup>.K): capacidade térmica;

$C_{Ta}, C_{Tb}, \dots, C_{Tn}$  (kJ/m<sup>2</sup>.K) :são as capacidades térmicas do componente para cada seção (a,b,...,n) e são determinadas pela Equação 2.15;

$A_a + A_b + \dots + A_n$  (m<sup>2</sup>): são as áreas de cada seção.

A capacidade térmica em componentes com câmara de ar é desprezada, pois o ar apresenta uma densidade de massa aparente muito baixa ( $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ) (NBR 15220, 2003).

### c) Atraso Térmico

Conforme a NBR 15220 (2003), o atraso térmico de um componente heterogêneo é dado pela Equação 14:

$$\phi = 1,382 \cdot R_t \sqrt{B_1 + B_2} \quad \text{Equação (14)}$$

As variáveis  $B_1$  e  $B_2$  são obtidos por meio das Equação 15 e Equação 16, respectivamente. Assim:

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} \quad \text{Equação (15)}$$

em que:

$R_t$ : resistência térmica de superfície a superfície do componente ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ );

$B_0$  é obtido por meio da Equação 17.

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(k \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot (R_{ext} - \left( \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)) \quad \text{Equação (16)}$$

em que:

$k$ : condutividade térmica do material [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ];

$\rho$ : densidade do elemento ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$c$ : calor específico do material ( $\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$ );

$R_t$ : resistência térmica de superfície a superfície do componente ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ );

$R_{ext}$ : resistência térmica da camada externa do componente ( $\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$ );

A norma NBR 15220 (2003) recomenda que, caso o valor de  $B_2$  seja negativo, é necessário considerá-lo como nulo.

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} \quad \text{Equação (17)}$$

em que:

$C_T$ : capacidade térmica total do componente ( $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ );

$C_{T_{ext}}$ : capacidade térmica da camada externa do componente ( $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ).

#### d) Transmitância Térmica

A transmitância térmica consiste de uma variável de suma importância para avaliar o comportamento do desempenho de fechamentos opacos em relação a transmissão de calor (LAMBERTS et al., 2014).

De acordo com a NBR 15220 (2003), a transmitância térmica de componentes, de ambiente a ambiente, é determinada pela Equação 18:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{Equação (18)}$$

em que:

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

$R_T$ : resistência térmica total do material obtida ( $m^2K/W$ ).

#### e) Fator de Ganho Solar

Segundo a NBR 15220 (2003), o fator de ganho solar de elementos opacos é obtido por meio da Equação 19:

$$FS_0 = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se} \quad \text{Equação (19)}$$

em que:

$FS_0$  (%): fator solar de elementos opacos;

$U$  ( $W/m^2.K$ ): transmitância térmica do componente;

$\alpha$ : é a absorptância à radiação solar;

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

Os valores da resistência superficial externa ( $R_{se}$ ) são fornecidos através da Tabela 3 da página 63 deste trabalho. Já os valores da absorptância ( $\alpha$ ) e da emissividade ( $\epsilon$ ) de algumas superfícies e cores são fornecidos por meio da Tabela 5.

Tabela 5 - Valores da absorptância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas).

<b>Tipo de Superfície</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\epsilon</math></b>
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caiação Nova	0,12/0,15	0,90
Concreto Aparente	0,65/0,80	0,85/0,95
Telha de Barro	0,75/0,80	0,85/0,95
Tijolo Aparente	0,65/0,80	0,85/0,95
Reboco Claro	0,30/0,50	0,85/0,95

Revestimento Asfáltico	0,85/0,98	0,90/0,98
Vidro Incolor	0,06/0,25	0,84
Vidro Colorido	0,40/0,80	0,84
Vidro Metalizado'	0,35/0,80	0,15/0,84
Pintura:		
Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde Clara	0,40	0,90
"Alumínio"	0,40	0,50
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

Fonte: NBR 15220, 2003.

A norma NBR 15220 (2003) estabeleceu, para cada zona bioclimática, valores admissíveis dos parâmetros de desempenho térmico baseado no clima local. Conforme a Tabela 6, observa-se que algumas zonas bioclimáticas possuem os mesmos valores para a transmitância térmica, atraso térmico e o fator solar. Isso ocorre porque tais zonas tem a mesma característica climática, o que faz com que tenham os mesmos valores dos parâmetros. Por exemplo, nas zonas bioclimáticas 1 e 2 o clima é bastante frio e, desta forma, o tipo de vedação externa (parede) recomendado para estas zonas é do tipo leve.

Nas zonas 3, 5 e 8 o clima é bem definido, sendo o clima quente no verão e frio no inverno. Assim sendo, a vedação externa (parede) apropriada para tais zonas é a leve e refletora. Nas zonas bioclimáticas 4, 6 e 7 o clima é bastante quente na maior parte do ano o que faz que o tipo de vedação externa apropriado seja a pesada.

A norma NBR 15775 (2013) estipulou valores mínimos dos parâmetros de desempenho térmico para cada zona bioclimática. A Tabela 6 fornece os valores admissíveis dos parâmetros para cada zona bioclimática de acordo com as normas NBR 15220 (2003) e NBR 15575 (2013).

Tabela 6 - Valores dos parâmetros de desempenho admissíveis para cada zona bioclimática de acordo com as normas NBR 15220 (2003) e NBR 15575 (2013).

Zona	NBR 15220			NBR 15575	
	U (W/m <sup>2</sup> K)	$\phi$ (Horas)	FS <sub>0</sub> (%)	U <sub>min</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	C <sub>Tmin</sub> (kJ/m <sup>2</sup> .K)
1	≤ 3,00 (leve)	≤ 4,3	≤ 5,0	≤ 2,5 (parede leve)	≥ 130
2	≤ 3,00 (leve)	≤ 4,3	≤ 5,0	≤ 2,5 (parede leve)	≥ 130
3	≤ 3,6 (leve refletora)	≤ 4,3	≤ 4,0	≤ 3,7 e $\alpha \leq 0,60$ ≤ 2,5 e $\alpha > 0,60$	≥ 130
4	≤ 2,20 (pesada)	≥ 6,5	≤ 3,5	≤ 3,7 e $\alpha \leq 0,60$ ≤ 2,5 e $\alpha > 0,60$	≥ 130
5	≤ 3,6 (leve refletora)	≤ 4,3	≤ 4,0	≤ 3,7 e $\alpha \leq 0,60$ ≤ 2,5 e $\alpha > 0,60$	≥ 130
6	≤ 2,20 (pesada)	≥ 6,5	≤ 3,5	≤ 3,7 e $\alpha \leq 0,60$ ≤ 2,5 e $\alpha > 0,60$	≥ 130
7	≤ 2,20 (pesada)	≥ 6,5	≤ 3,5	≤ 3,7 e $\alpha \leq 0,60$ ≤ 2,5 e $\alpha > 0,60$	≥ 130
8	≤ 3,6 (leve refletora)	≤ 4,3	≤ 4,0	≤ 3,7 e $\alpha \leq 0,60$ ≤ 2,5 e $\alpha > 0,60$	Sem exigência

Fonte: NBR 15220, 2003 e NBR 15575, 2013.

### 2.7.2 Parâmetros do Desempenho no Município de Barreiras

Conforme a c, o Município de Barreiras está situado na zona bioclimática 7, na qual deve seguir às diretrizes construtivas relacionadas as aberturas para ventilação e sombreamento apresentadas na Tabela 7, além dos tipos de vedações externas indicado na Tabela 8.

Tabela 7 - Diretrizes para o Município de Barreiras.

Aberturas para Ventilação	Sombreamento para aberturas
Pequenas	Sombrear Aberturas

Fonte: NBR 15220, 2003.

Tabela 8 - Tipos de vedações para o Município de Barreiras.

<b>Vedações Externas</b>	
Paredes	Pesada
Cobertura	Pesada

Fonte: NBR 15220, 2003.

Os parâmetros de desempenho térmico para vedações externas (parede) tais como a transmitância térmica, o atraso térmico e o fator solar, no Município de Barreiras, são mencionados na Tabela 9.

Tabela 9 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de ganho solar admissível para vedação externa no Município de Barreiras.

<b>Vedações Externas</b>	<b>Transmitância Térmica – U (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	<b>Atraso Térmico – <math>\phi</math> (horas)</b>	<b>Fator de Solar - <math>FS_0</math> (%)</b>
Parede Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FS_0 \leq 3,5$

Fonte: NBR 15220, 2003.

Os valores mínimos admissíveis, baseado na NBR 15575 (2013) para a transmitância térmica (U) e capacidade ( $C_T$ ) das paredes externas no Município de Barreiras estão explícitos na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores mínimos admissíveis para a transmitância térmica e capacidade térmica em vedação externa no município de Barreiras.

<b>Transmitância Térmica – U (W/m<sup>2</sup>.K)</b>		<b>Capacidade Térmica (<math>C_T</math>) (kJ/m<sup>2</sup>.K)</b>
$\alpha^a \leq 0,6$ $U \leq 3,7$	$\alpha^a > 0,6$ $U \leq 2,5$	$C_T \geq 130$

<sup>a</sup> $\alpha$  é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

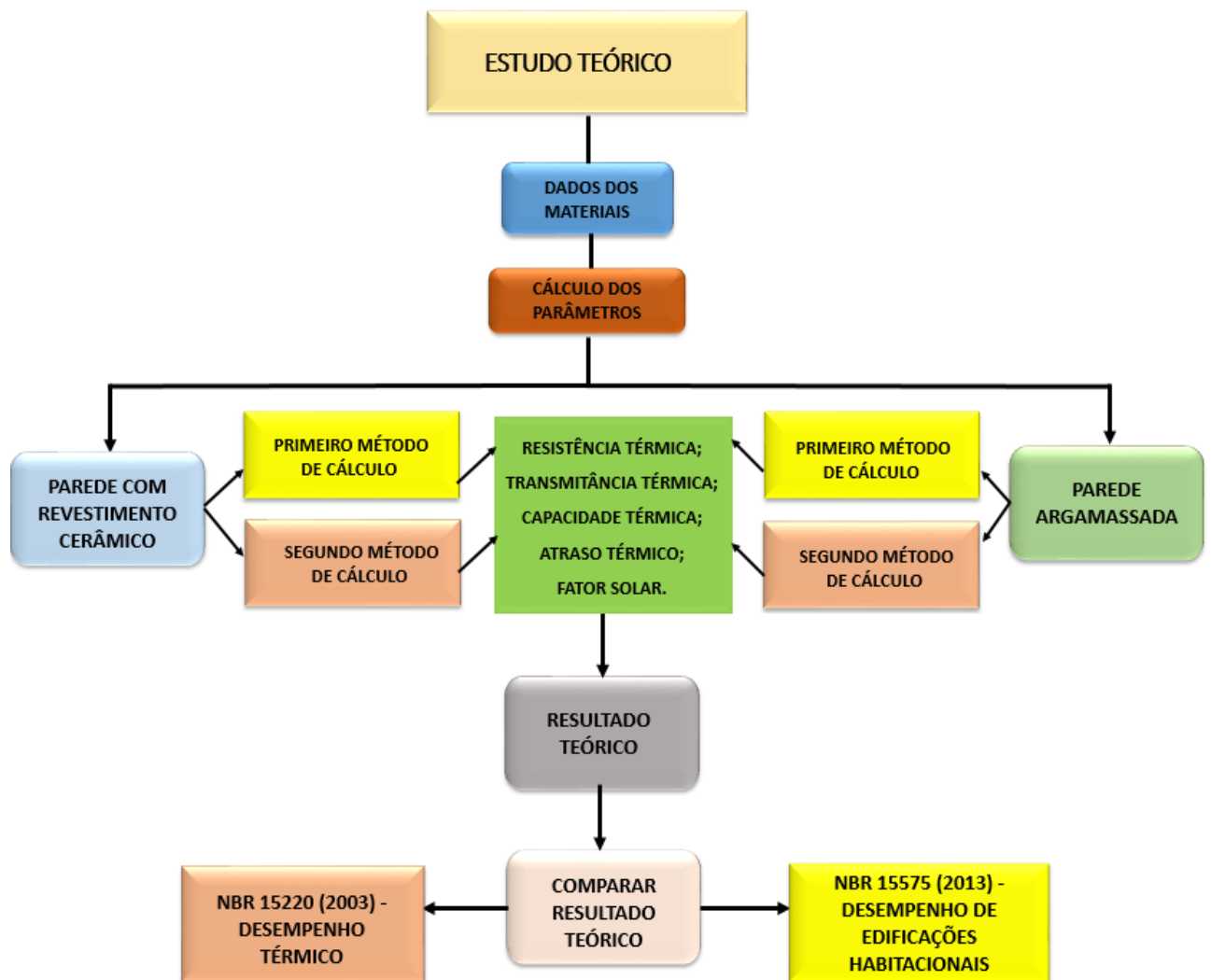
Fonte: NBR 15575, 2013.

### 3. ESTUDO TEÓRICO

O presente capítulo abrange os dados dos materiais utilizados na pesquisa, o cálculo dos parâmetros de desempenho para paredes com revestimento e argamassada, baseado nas normas NBR 15220 (2003) e NBR 15575 (2013).

O Fluxograma 1 explica o procedimento adotado no estudo teórico.

Fluxograma 1 – Metodologia aplicada no estudo teórico.



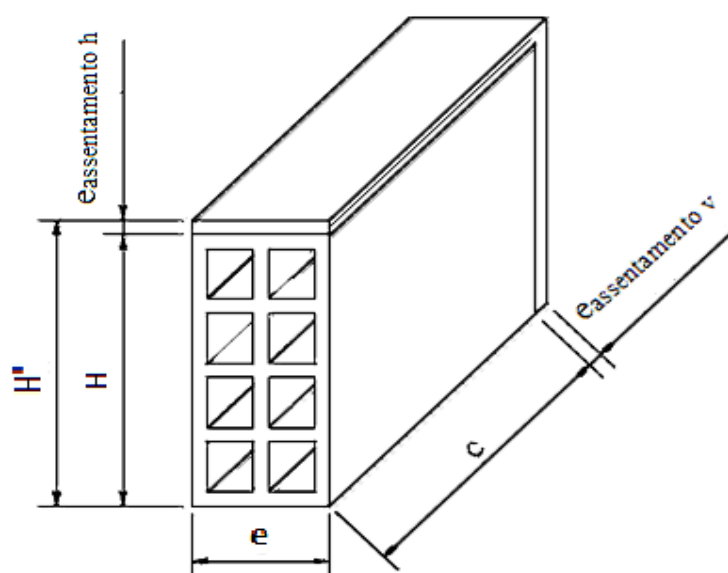
Fonte: AUTOR.

#### 3.1 Dados dos Materiais

A parede é composta por bloco cerâmico de oito furos com dimensões 9 cm x 19 cm x 19 cm, com valor de 1 centímetro de espessura para argamassa de assentamento na vertical (  $e_{\text{assentamento v}}$ ), 1 centímetro de espessura para argamassa de assentamento na

horizontal ( $e_{\text{assentamento h}}$ ), e 2 centímetros de espessura para argamassa de emboço (TANAKA, 2016). A superfície do objeto é de alta emissividade ( $\epsilon$ ) em consequência da cal aplicado no substrato da parede. Além disso, a direção do fluxo de calor é na horizontal e a espessura da câmara de ar ( $e_{\text{câmara de ar}}$ ) do bloco cerâmico tem valor igual a 3 centímetros. Tais características determinam o valor da resistência térmica da câmara de ar ( $R_{\text{ar}}$ ) que equivale a  $0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , conforme é ilustrado na Tabela 4 da página 65. A Figura 46 representa o bloco cerâmico de oito furos com a altura ( $H$ ), comprimento ( $C$ ), altura total ( $H'$ ) e argamassa de assentamento tanto na horizontal ( $e_{\text{assentamento h}}$ ) quanto na vertical ( $e_{\text{assentamento v}}$ ).

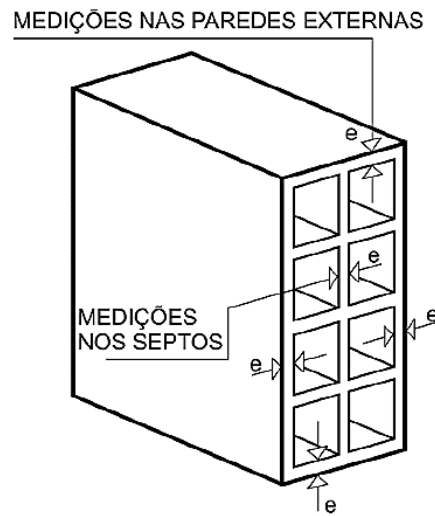
Figura 46- - Representação do bloco cerâmico de 8 furos e argamassa de assentamento na vertical e na horizontal em formato 3D.



Fonte: AUTOR.

As espessuras das paredes externas ( $e_{\text{externa}}$ ) do bloco cerâmico devem ser mensuradas no mínimo nos pontos indicados buscando o ponto em que a parede apresenta menor espessura. Já as medidas das espessuras dos septos ( $e_{\text{interna}}$ ) são obtidas na região central destes, utilizando no mínimo quatro medições e buscando os septos de menor espessura (Figura 47) (NBR 15270, 2005).

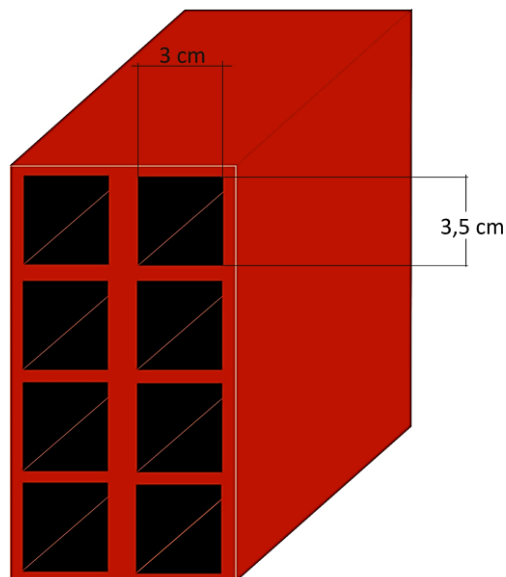
Figura 47 - Posições esquemáticas para medições da espessura externa da parede ( $e_{\text{externa}}$ ) e septos ( $e_{\text{interna}}$ ).



Fonte: NBR 15270, 2005.

Desta forma, foram feitas as devidas medições no bloco cerâmico e obteve-se, para espessura externa ( $e_{\text{externa}}$ ), septos ( $e_{\text{interna}}$ ) e espessura da câmara de ar ( $e_{\text{câmara de ar}}$ ), valores iguais a 1 cm, 1 cm e 3 cm respectivamente. Além disso, mensurou-se as espessuras da câmara de ar na vertical e obtendo-se valor igual a 3,5 cm (Figura 48).

Figura 48- Valores da espessura da câmara de ar ( $e_{\text{câmara de ar}}$ ) na vertical e na horizontal.



Fonte: AUTOR.

De forma resumida, as Tabelas 11, 12 e 13 fornecem os valores para cada espessura do bloco cerâmico, espessura dos materiais que constituem a parede e os valores da densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) dos materiais, respectivamente.

Tabela 11 - Valores das espessuras do bloco cerâmico.

Material	$e_{externa}$ (cm)	$(e_{interna})$ (cm)	$e_{câmara\ de\ ar}$ (cm)	
			Horizontal	Vertical
Bloco cerâmico	1,00	1,00	3,00	3,50

Fonte: AUTOR.

Tabela 12 - Espessura dos materiais.

Material	e (cm)
Argamassa de Assentamento	1,00
Argamassa Colante	1,00
Argamassa de Emboço	2,00
Placa Cerâmica	0,5

Fonte: TANAKA, 2016.

Tabela 13 - Dados dos materiais: condutividade térmica, densidade e calor específico.

Material	$\lambda$ (W/m.K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	c (kJ/kg.K)
Bloco cerâmico	0,90	1600	0,92
Argamassa de Assentamento	1,15	2000	1,00
Argamassa Colante	1,15	2000	1,00
Argamassa de emboço (camada única)	1,15	2000	1,00
Placa Cerâmica	2,00	2,51	0,92

Fonte: NBR 15220, 2003; (SARAIVA et al., 2002).

Os valores dos coeficiente de condutividade térmica ( $\lambda$ ) e massa específica ( $\rho$ ) da placa cerâmica não constam na norma NBR 15220 (2003). Desta forma, foi necessário procurar em outra fonte para realizar os cálculos (SARAIVA et al., 2002).

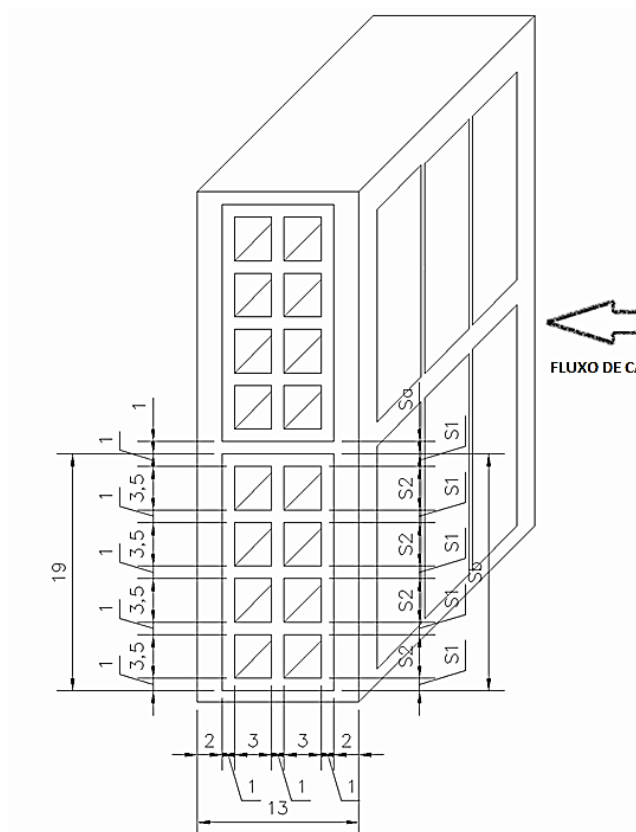
### 3.2 Cálculo dos Parâmetros de Desempenho para Parede com Revestimento Cerâmico

O desenvolvimento do cálculo dos parâmetros de desempenho térmico baseou-se na norma NBR 15220-2 (ABNT, 2003). Desta forma, o cálculo dos parâmetros de desempenho térmico pode ser resolvido por meio de dois métodos distintos que serão contextualizados a seguir.

#### a) Primeiro Método de Cálculo:

A Figura 49 ilustra o corte transversal da parede de bloco cerâmico de oito furos com argamassa de emboço em ambas as faces sendo que, em uma dessas faces, possui argamassa de assentamento e revestimento com placas cerâmicas.

Figura 49 - Parede de bloco cerâmico de 8 furos em formato 3 D com as respectivas medidas e seções.



Fonte: AUTOR.

Na primeira forma de cálculo, determina-se a resistência térmica do bloco cerâmico e, posteriormente, calcula-se a resistência térmica da parede para cada seção considerada. Por fim, determina-se a resistência térmica total para efetuar o cálculo dos demais parâmetros.

As equações utilizadas para efetuar os cálculos serão mencionadas a seguir.

I. Cálculo da Resistência Térmica do Bloco Cerâmico ( $R_{bloco}$ ):

Primeiramente calcula-se a resistência térmica do bloco cerâmico. Para isso, é necessário determinar a resistência térmica de cada seção do bloco cerâmico.

Para a seção 1, composta somente por cerâmica, será utilizado a Equação 8 da página 62 para o cálculo da resistência térmica:

$$R_1 = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}}$$

Para a seção 2, composta por cerâmica e câmara de ar, a Equação 9 da página 62 será utilizada para o cálculo da resistência térmica:

$$R_2 = R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica}$$

Posteriormente, calcula-se a área da seção 1 ( $A_1$ ) e da seção 2 ( $A_2$ ) com base na norma NBR 15220 (2003). A área da seção 1 ( $A_1$ ) será obtida por meio da espessura externa da parede ( $e_{externa}$ ) do bloco cerâmico multiplicado pelo comprimento ( $C$ ) do mesmo. Entretanto, para a área da seção 2 ( $A_2$ ), utilizará a espessura da câmara de ar na vertical ( $e_{câmara\ de\ ar}$ ) multiplicado pelo comprimento ( $C$ ) do bloco cerâmico. Desta forma, os valores das seção ( $A_1$ ) e da seção 2 ( $A_2$ ) serão determinados pelas Equação 20 e Equação 21, respectivamente. Tem-se então:

$$A_1 = e_{externa} \times C \quad \text{Equação (20)}$$

$$A_2 = e_{câmara\ de\ ar\ na\ vertical} \times C \quad \text{Equação (21)}$$

Por fim, calcula-se a resistência total do bloco cerâmico por meio da Equação 11 da página 65:

$$R_{bloco} = \frac{5.A_1 + 4.A_2}{\frac{5.A_1}{R_1} + \frac{4.A_2}{R_2}}$$

Como a parede possui 5 (cinco) seções 1 e 4 (quatro) seções 2, a área 1 ( $A_1$ ) será multiplicado por 5 (cinco) e a área 2 ( $A_2$ ) multiplicado por 4 (quatro) na equação.

Depois de ter encontrado a resistência térmica total do bloco cerâmico ( $R_{bloco}$ ), o próximo passo será determinar a resistência térmica da parede ( $R_{parede}$ ). A parede é composta por bloco cerâmico, argamassa de assentamento, argamassa de emboço (camada única), argamassa colante e placa cerâmica.

Para a seção A (placa cerâmica + argamassa colante + argamassa de emboço + argamassa de assentamento + argamassa de emboço) e para a seção B (placa cerâmica + argamassa colante + argamassa de emboço + cerâmica + argamassa de emboço), que se encontram na Figura 49 da página 76 deste trabalho, será utilizado a Equação 9 (página 62):

$$R_a = \frac{e_{placa\ cerâmica}}{\lambda_{placa\ cerâmica}} + \frac{e_{arg.colante}}{\lambda_{arg.colante}} + \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}} + \frac{e_{arg.assentamento}}{\lambda_{arg.assentamento}} + \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}}$$

$$R_b = \frac{e_{placa\ cerâmica}}{\lambda_{placa\ cerâmica}} + \frac{e_{arg.colante}}{\lambda_{arg.colante}} + \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}} + R_{bloco} + \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}}$$

Em seguida, calcula-se a área da seção A ( $A_a$ ) e da seção B ( $A_b$ ). A área da seção A ( $A_a$ ) será obtida por meio da área da superfície da argamassa destacada em amarelo conforme é ilustrado na Figura 50 da página 79. Entretanto, para a área da seção B ( $A_b$ ), utilizará a área da superfície do bloco cerâmico. Logo, emprega-se a Equação 22 para o cálculo da área da seção A e, para o cálculo da área da seção B, utiliza-se a Equação 23:

$$A_a = (e_{\text{assentamento } v} \times C) + (e_{\text{assentamento } h} \times H') \quad \text{Equação (22)}$$

$$A_b = H \times C \quad \text{Equação (23)}$$

em que:

H: altura do bloco cerâmico (m);

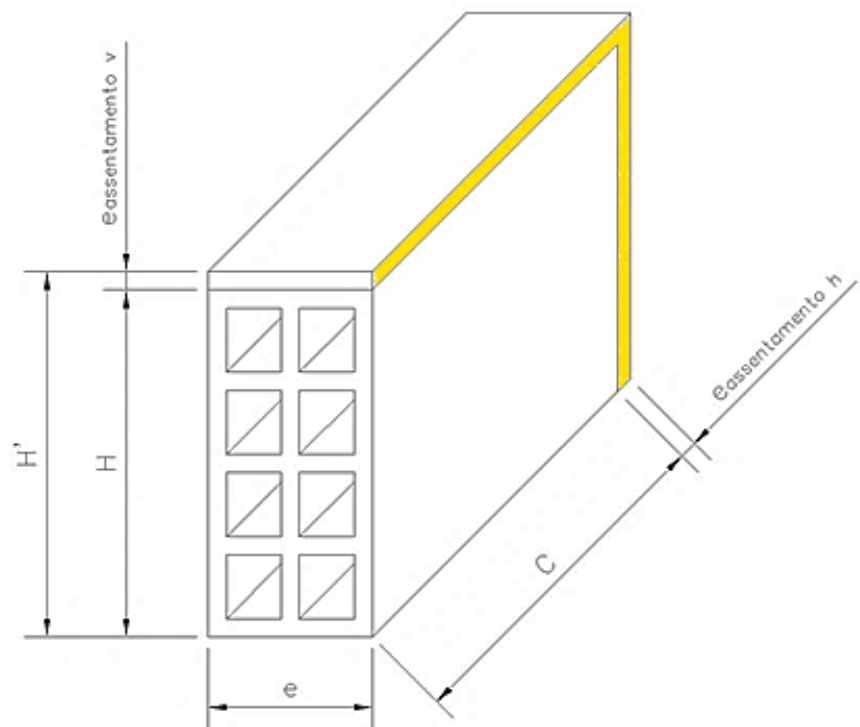
H': altura do bloco cerâmico e argamassa de assentamento na vertical (m);

C: comprimento do bloco cerâmico (m).

$e_{\text{assentamento } v}$ : espessura de assentamento vertical (m);

$e_{\text{assentamento } h}$ : espessura de assentamento horizontal (m).

Figura 50 - Bloco cerâmico, em formato 3D, isolado com ênfase na área da superfície da argamassa.



Fonte: AUTOR.

Logo, a resistência térmica da parede ( $R_{\text{parede}}$ ) será determinada por meio da Equação 11 da página 65:

$$R_{parede} = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}$$

Portanto, a resistência térmica total será determinada pela Equação 10 da página 63:

$$R_T = R_{se} + R_{parede} + R_{si}$$

Lembrando que  $R_{se}$  e  $R_{si}$  correspondem as resistências superficiais externa e interna e seus valores estão na Tabela 3, página 63, deste trabalho.

## II. Cálculo da Transmitância Térmica (U):

O valor da transmitância térmica é obtida através da Equação 18, página 68:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

## III. Cálculo da Capacidade Térmica ( $C_T$ ):

Para determinar a capacidade térmica é necessário calcular a capacidade térmica de cada seção. Assim, analisando a Figura 49 da página 76 deste trabalho, tem-se:

Para a seção A (placa cerâmica + argamassa colante + argamassa de emboço + argamassa de assentamento + argamassa de emboço) e seção B (placa cerâmica + argamassa colante + argamassa de emboço + cerâmica + argamassa de emboço), utiliza-se a Equação 12, página 65:

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

$$C_{Ta} = (e \cdot c \cdot \rho)_{placa\ cerâmica} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg.colante} + (e \cdot c \cdot \rho)_{emboço} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg.assentamento} + (e \cdot c \cdot \rho)_{emboço}$$

$$C_{Tb} = (e \cdot c \cdot \rho)_{placa\ cerâmica} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg.colante} + (e \cdot c \cdot \rho)_{emboço} \\ + (e \cdot c \cdot \rho)_{cerâmica} + (e \cdot c \cdot \rho)_{emboço}$$

Por fim, utilizando a Equação 13, página 66, encontra-se a capacidade térmica total:

$$C_T = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}}}$$

#### IV. Cálculo do Atraso Térmico ( $\phi$ ):

Para efetuar o cálculo e encontrar o valor do atraso térmico, utiliza-se a Equação 14, página 66:

$$\phi = 1,382 \cdot R_{parede} \sqrt{B_1 + B_2}$$

O  $B_0$  será determinado por meio da Equação 17, página 67:

$$B_0 = C_T - C_{placa\ cerâmica}$$

O  $B_1$  será obtido através da Equação 15, página 67:

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_{parede}}$$

O  $B_2$  será encontrado utilizando a Equação 16, página 67:

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho)_{placa\ cerâmica}}{R_{parede}} \right) \cdot \left( R_{placa\ cerâmica} - \left( \frac{R_{parede} - R_{placa\ cerâmica}}{10} \right) \right)$$

Caso  $B_2$  seja negativo, é necessário considera-lo como nulo.

#### V. Cálculo do Fator Solar ( $FS_0$ ):

O fator solar será determinado por meio da Equação 19, página 68:

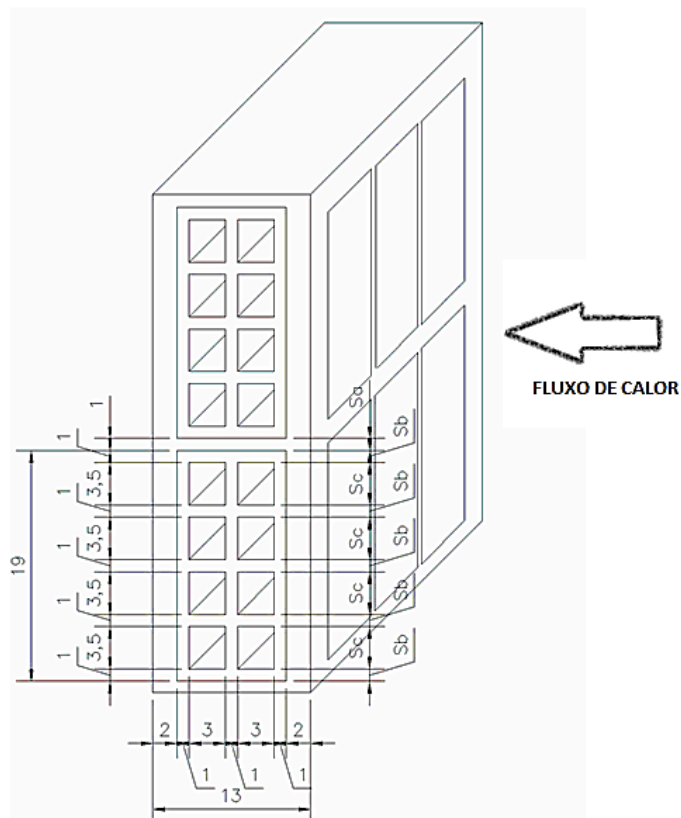
$$FS_0 = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se}$$

O  $R_{se}$  corresponde à resistência superficial externa e seus valores são encontrados na Tabela 3, página 63. Já os valores da absorvância ( $\alpha$ ) estão na Tabela 5, página 68.

b) Segundo Método de Cálculo:

A Figura 51 ilustra a parede com revestimento cerâmico com as devidas medidas e seções.

Figura 51 - Parede de bloco cerâmico de 8 furos em formato 3D, com suas devidas medidas e seções.



Fonte: AUTOR.

Para a segunda forma de cálculo, a resistência térmica da parede e a capacidade são calculadas considerando-se a placa cerâmica, argamassa colante, argamassa de emboço, argamassa de assentamento e bloco cerâmico ao mesmo tempo. Utilizou-se os mesmos dados do primeiro método para efetuar os cálculos.

I. Cálculo da Resistência Térmica da Parede ( $R_{parede}$ ):

Para o cálculo da resistência térmica da parede ( $R_{parede}$ ) é necessário efetuar o cálculo da resistência térmica para cada seção considerada.

O procedimento de cálculo do segundo método para determinar a resistência térmica das seções A e B é o mesmo do primeiro método, que consta na página 78.

Para a seção c (placa cerâmica + argamassa colante + argamassa de emboço + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + argamassa de emboço), utilizou-se a Equação 9, página 62, para encontrar o valor da resistência térmica.

$$R_c = \frac{e_{placa\ cerâmica}}{\lambda_{placa\ cerâmica}} + \frac{e_{arg.colante}}{\lambda_{arg.colante}} + \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + R_{ar} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + R_{ar} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}}$$

Posteriormente, calcula-se a área da seção A ( $A_a$ ), da seção B ( $A_b$ ) e da seção C ( $A_c$ ). A Equação 22, página 79, será utilizada para encontrar o valor da área da seção A ( $A_a$ ). Para determinar o valor da área da seção B ( $A_b$ ) será utilizado a Equação 23, página 79 e, o valor da área da seção C ( $A_c$ ), será obtido por meio da Equação 21, página 77.

Por meio da Equação 11, página 65, calcula-se a resistência térmica da parede:

$$R_{parede} = \frac{A_a + 5 \cdot A_b + 4 \cdot A_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{5 \cdot A_b}{R_b} + \frac{4 \cdot A_c}{R_c}}$$

Como a parede possui 5 (cinco) seções B e 4 (quatro) seções C, a área b ( $A_b$ ) será multiplicado por 5 (cinco) e a área c ( $A_c$ ) multiplicado por 4 (quatro) na equação anterior. As áreas estão relacionadas com cada seção analisada.

Por fim, conforme a Equação 10, página 63 e, sabendo que os valores das resistências superficial ( $R_{se}$ ) externa e superficial interna ( $R_{si}$ ) encontram-se na Tabela 3, página 63, calcula-se a resistência térmica total:

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

## II. Cálculo da Capacidade Térmica ( $C_T$ ):

O procedimento de cálculo do segundo método para determinar a capacidade térmica das seções A e B é o mesmo do primeiro método, que consta nas páginas 80 e 81.

Para a seção C (placa cerâmica + argamassa colante + argamassa de emboço + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + argamassa de emboço), a capacidade térmica será:

$$C_{Tc} = (e \cdot c \cdot \rho)_{placa\ cerâmica} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg.colante} + (e \cdot c \cdot \rho)_{emboço} \\ + (e \cdot c \cdot \rho)_{cerâmica} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cerâmica} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} \\ + (e \cdot c \cdot \rho)_{cerâmica} + (e \cdot c \cdot \rho)_{emboço}$$

Utilizando a Equação 13, página 66, encontra-se a capacidade térmica total:

$$C_T = \frac{A_a + 5 \cdot A_b + 4 \cdot A_c}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{5 \cdot A_b}{C_{Tb}} + \frac{4 \cdot A_c}{C_{Tc}}}$$

O procedimento de cálculo da transmitância térmica (U), do atraso térmico ( $\phi$ ) e do fator solar ( $FS_0$ ) é o mesmo do primeiro método de cálculo e constam nas páginas 80 e 81, respectivamente.

### 3.3 Cálculo dos Parâmetros de Desempenho para Parede Argamassada

O cálculo dos parâmetros de desempenho térmico da parede argamassada, tanto no primeiro e no segundo método, é realizado de maneira similar ao da parede com revestimento cerâmico, porém desconsidera-se a placa cerâmica para determinar cada parâmetro

### 3.4 Resultado do estudo teórico

Neste subitem são apresentados os resultados dos parâmetros de desempenho térmico da parede de alvenaria com revestimento cerâmico e argamassada baseado na norma NBR 15220 (2003).

Os valores das densidade de massa aparente ( $\rho$ ), calor específico ( $c$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e espessuras ( $e$ ), de cada material considerado, encontram-se nas Tabelas 11, 12 e 13 na página 75.

### 3.4.1 Cálculo dos Parâmetros de Desempenho Térmico para Parede de Alvenaria com Revestimento Cerâmico

a) Cálculo da Resistência Térmica:

**Bloco Cerâmico ( $R_{bloco}$ ):**

Seção 1 (cerâmica):

$$R_1 = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}}$$

$$R_1 = \frac{0,09}{0,90}$$

$$R_1 = \underline{0,1 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

Seção 2 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica):

$$R_2 = R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica} + R_{ar} + R_{cerâmica}$$

$$R_2 = \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90}$$

$$R_2 = \underline{0,3533 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

O valor da resistência térmica da câmara de ar ( $R_{ar}$ ) é igual a  $0,16 \text{ m}^2.\text{K/W}$  e conta na Tabela 4, página 65 deste trabalho.

A área de cada seção é determinada a seguir:

Seção 1 (cerâmica):

$$A_1 = (e_{\text{externa}} \times C)$$

$$A_1 = (0,010 \times 0,19)$$

$$A_1 = \underline{0,0019 \text{ m}^2}$$

Seção 2 (cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica):

$$A_2 = e_{\text{câmara de ar vertical}} \times C$$

$$A_2 = 0,035 \times 0,19$$

$$A_2 = \underline{0,0067 \text{ m}^2}$$

Assim, o valor da resistência térmica do bloco ( $R_{\text{bloco}}$ ) será:

$$R_{\text{bloco}} = \frac{5 \cdot A_1 + 4 \cdot A_2}{\frac{5 \cdot A_1}{R_1} + \frac{4 \cdot A_2}{R_2}}$$

$$R_{\text{bloco}} = \frac{5 \times 0,0019 + 4 \times 0,0067}{\frac{5 \times 0,0019}{0,1} + \frac{4 \times 0,0067}{0,3533}}$$

$$R_{\text{bloco}} = \underline{0,2125 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

**Parede ( $R_{\text{parede}}$ ):**

Seção A (placa cerâmica + argamassa colante + argamassa de emboço + argamassa de assentamento + argamassa de emboço):

$$R_a = \frac{e_{\text{placa cerâmica}}}{\lambda_{\text{placa cerâmica}}} + \frac{e_{\text{arg.colante}}}{\lambda_{\text{arg.colante}}} + \frac{e_{\text{emboço}}}{\lambda_{\text{emboço}}} + \frac{e_{\text{arg.assentamento}}}{\lambda_{\text{arg.assentamento}}} + \frac{e_{\text{emboço}}}{\lambda_{\text{emboço}}}$$

$$R_a = \frac{0,005}{2} + \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,02}{1,15}$$

$$R_a = \underline{0,1242 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

Seção B (placa cerâmica + argamassa colante + argamassa de emboço + cerâmica + argamassa de emboço):

$$R_b = \frac{e_{placa\ cerâmica}}{\lambda_{placa\ cerâmica}} + \frac{e_{arg.colante}}{\lambda_{arg.colante}} + \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}} + R_{bloco} + \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}}$$

$$R_b = \frac{0,005}{2} + \frac{0,01}{1,15} + \frac{0,02}{1,15} + 0,2125 + \frac{0,02}{1,15}$$

$$R_b = \underline{0,2584\ m^2.K/W}$$

A área de cada seção será:

Seção A (placa cerâmica + argamassa colante + argamassa de emboço + argamassa de assentamento + argamassa de emboço):

$$A_a = (e_{assentamento\ v} \times C) + (e_{assentamento\ h} \times H')$$

$$A_a = (0,01 \times 0,20) + (0,01 \times 0,19)$$

$$A_a = \underline{0,0039\ m^2}$$

Seção B (placa cerâmica + argamassa colante + argamassa de emboço + cerâmica + argamassa de emboço):

$$A_b = H \times C$$

$$A_b = 0,19 \times 0,19$$

$$A_b = \underline{0,0361\ m^2}$$

Assim, a resistência térmica da parede ( $R_{parede}$ ) é:

$$R_{parede} = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}$$

$$R_{parede} = \frac{0,0039 + 0,0361}{\frac{0,0039}{0,1242} + \frac{0,0361}{0,2584}}$$

$$R_{parede} = \underline{0,2338 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

Por fim, considerando as resistências superficiais externa e interna cujos valores equivalem respectivamente a  $R_{se} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  e  $R_{si} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  devido ao fluxo de calor ser na direção horizontal (Tabela 3, página 63), a resistência térmica total do material ( $R_T$ ) é:

$$R_T = R_{se} + R_{parede} + R_{si}$$

$$R_T = 0,13 + 0,2338 + 0,04$$

$$R_T = \underline{0,4038 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

b) Cálculo da Transmitância Térmica (U):

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$$U = \frac{1}{0,4038}$$

$$U = \underline{2,48 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

c) Cálculo da Capacidade Térmica ( $C_T$ ):

Efetuada o cálculo em cada seção, tem-se:

Seção A (placa cerâmica + argamassa colante + argamassa de emboço + argamassa de assentamento + argamassa de emboço):

$$C_T = \sum_{i=1}^5 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

$$C_{Ta} = (e \cdot c \cdot \rho)_{placa \text{ cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg.colante} + (e \cdot c \cdot \rho)_{emboço} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg.assentamento} + (e \cdot c \cdot \rho)_{emboço}$$

$$C_{Ta} = (0,005 \times 0,92 \times 2510) + (0,01 \times 1 \times 2000) + (0,02 \times 1 \times 2000) + (0,09 \times 1 \times 2000) + (0,02 \times 1 \times 2000)$$

$$C_{Ta} = \underline{292 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

Seção B (placa cerâmica + argamassa colante + argamassa de emboço + cerâmica + argamassa de emboço):

$$C_T = \sum_{i=1}^5 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

$$C_{Tb} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{placa cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{arg.colante}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{emboço}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{emboço}}$$

$$C_{Tb} = (0,005 \times 0,92 \times 2510) + (0,01 \times 1 \times 2000) + (0,02 \times 1 \times 2000) + (0,09 \times 0,92 \times 1600) + (0,02 \times 1 \times 2000)$$

$$C_{Tb} = \underline{244 \text{ kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Os valores das áreas da seção A ( $A_a$ ) e da seção B ( $A_b$ ) constam na página 87 deste trabalho.

Por fim, a capacidade térmica total ( $C_T$ ) será:

$$C_T = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}}}$$

$$C_T = \frac{0,0039 + 0,0361}{\frac{0,0039}{292} + \frac{0,0361}{244}}$$

$$C_T = \underline{248 \text{ kJ}/\text{m}^2}$$

d) Cálculo do Atraso Térmico ( $\phi$ ):

➤ Cálculo de  $B_0$ :

$$B_0 = C_T - C_{TEXT}$$

$$B_0 = 248 - (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{placa cerâmica}}$$

$$B_0 = 248 - (0,005 \times 0,92 \times 2510)$$

$$B_0 = \underline{236,5}$$

Lembrando que  $C_{TEXT}$  corresponde à camada mais externa do componente.

➤ Cálculo de  $B_1$ :

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_{parede}}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{236,5}{0,2338}$$

$$B_1 = \underline{228,6}$$

➤ Cálculo de  $B_2$ :

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_{parede}} \right) \cdot \left( R_{ext} - \left( \frac{R_{parede} - R_{ext}}{10} \right) \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(1,15 \times 2510 \times 0,92)}{0,2338} \right) \cdot \left( \frac{0,005}{2} - \left( \frac{0,2338 - \frac{0,005}{2}}{10} \right) \right)$$

$$B_2 = \underline{-83,5}$$

Como o valor da variável  $B_2$  é negativo, considera-o como sendo nulo.

Por fim, o atraso térmico será:

$$\phi = 1,382 \cdot 0,2338 \times \sqrt{228,6 + 0}$$

$$\phi = \underline{4,9 \text{ horas}}$$

e) Cálculo do Fator Solar ( $FS_0$ ):

Sabendo que a resistência superficial externa ( $R_{se}$ ) é igual a 0,04 em consequência ao fluxo de calor ser na horizontal e que a abortância ( $\alpha$ ) equivale a 0,2 devido a superfície externa da parede ser na cor branca, tem-se:

$$FS_0 = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se}$$

$$FS_0 = 100 \times 2,48 \times 0,2 \times 0,04$$

$$FS_0 = \underline{1,984 \%}$$

Lembrando que os valores da resistência superficial externa ( $R_{se}$ ) e da absorvância ( $\alpha$ ) constam na Tabela 3, página 63 e na Tabela 4, página 65 respectivamente.

### 3.4.2 Cálculo dos Parâmetros de Desempenho Térmico para Parede de Alvenaria Argamassada

a) Cálculo da Resistência Térmica:

#### Bloco Cerâmico ( $R_{bloco}$ ):

O procedimento utilizado para determinar o valor da resistência térmica do bloco cerâmico em parede de alvenaria argamassada é similar ao da parede de alvenaria com revestimento cerâmico e consta nas páginas 85 e 86 deste trabalho.

A área de cada seção em paredes de alvenaria argamassada é determinada da mesma forma que em paredes de alvenaria com revestimento cerâmico e consta na página 86.

Portanto, o valor da resistência térmica do bloco ( $R_{bloco}$ ) será:

$$R_{bloco} = \underline{0,2125 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

#### Parede ( $R_{parede}$ ):

Seção A (argamassa de emboço + argamassa de assentamento + argamassa de emboço):

$$R_a = \frac{e_{emboço}}{k_{emboço}} + \frac{e_{arg.assentamento}}{k_{arg.assentamento}} + \frac{e_{emboço}}{k_{emboço}}$$

$$R_a = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,02}{1,15}$$

$$R_a = \underline{0,1130 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

Seção B (argamassa de emboço + cerâmica + argamassa de emboço):

$$R_b = \frac{e_{emboço}}{k_{emboço}} + R_{bloco} + \frac{e_{emboço}}{k_{emboço}}$$

$$R_b = \frac{0,02}{1,15} + 0,2125 + \frac{0,02}{1,15}$$

$$R_b = \underline{0,2473 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

As áreas das seções A ( $A_a$ ) e B ( $A_b$ ) em paredes de alvenaria argamassada são determinadas de forma semelhante ao em paredes de alvenaria com revestimento cerâmico e constam na página 87 deste trabalho. Deste modo, a resistência térmica da parede ( $R_{parede}$ ) será:

$$R_{parede} = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}$$

$$R_{parede} = \frac{0,0039 + 0,0361}{\frac{0,0039}{0,1130} + \frac{0,0361}{0,2473}}$$

$$R_{parede} = \underline{0,2216 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

Por fim, a resistência térmica total ( $R_T$ ) da parede, sendo que as resistências superficiais externa e interna valem  $R_{se} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$  e  $R_{si} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$ , será:

$$R_T = R_{se} + R_{parede} + R_{si}$$

$$R_T = 0,13 + 0,2216 + 0,04$$

$$R_T = \underline{0,3916 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

a) Cálculo da Transmitância Térmica (U):

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$$U = \frac{1}{0,3916}$$

$$U = \underline{2,55 \text{ W/m}^2.\text{K}}$$

b) Cálculo da Capacidade Térmica ( $C_T$ ):

Determinando a capacidade térmica em cada seção, tem-se:

Seção A (argamassa de emboço + argamassa de assentamento + argamassa de emboço):

$$C_T = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

$$C_{Ta} = (e \cdot c \cdot \rho)_{emboço} + (e \cdot c \cdot \rho)_{arg.assentamento} + (e \cdot c \cdot \rho)_{emboço}$$

$$C_{Ta} = (0,02 \times 1 \times 2000) + (0,09 \times 1 \times 2000) + (0,02 \times 1 \times 2000)$$

$$C_{Ta} = \underline{260 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}}$$

Seção B (argamassa de emboço + cerâmica + argamassa de emboço):

$$C_T = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

$$C_{Tb} = (e \cdot c \cdot \rho)_{emboço} + (e \cdot c \cdot \rho)_{cerâmica} + (e \cdot c \cdot \rho)_{emboço}$$

$$C_{Tb} = (0,02 \cdot 1 \cdot 2000) + (0,09 \cdot 0,92 \cdot 1600) + (0,02 \cdot 1 \cdot 2000)$$

$$C_{Tb} = \underline{212 \text{ kJ/m}^2\text{K}}$$

Como a área da seção A ( $A_a$ ) é igual a  $0,0039 \text{ m}^2$  e área da seção B ( $A_b$ ) equivale a  $0,0361 \text{ m}^2$  e constam na página 87 deste trabalho, a capacidade térmica total será:

$$C_T = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}}}$$

$$C_T = \frac{0,0039 + 0,0361}{\frac{0,0039}{260} + \frac{0,0361}{212}}$$

$$C_T = \underline{216 \text{ kJ/m}^2\text{K}}$$

c) Cálculo do Atraso Térmico ( $\phi$ ):

➤ Cálculo de  $B_0$ :

Sendo  $C_{TEXT}$  a camada mais externa do componente, tem-se:

$$B_0 = C_T - C_{TEXT}$$

$$B_0 = 216 - (e \cdot c \cdot \rho)_{emboço}$$

$$B_0 = 216 - (0,02 \cdot 1 \cdot 2000)$$

$$B_0 = \underline{176}$$

➤ Cálculo do  $B_1$ :

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_{parede}}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{176}{0,2216}$$

$$B_1 = \underline{179,5}$$

➤ Cálculo do  $B_2$ :

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(k \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_{parede}} \right) \cdot \left( R_{ext} - \left( \frac{R_{parede} - R_{ext}}{10} \right) \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(1,15 \times 2000 \times 1)}{0,2216} \right) \cdot \left( \frac{0,02}{1,15} - \left( \frac{0,2216 - \frac{0,02}{1,15}}{10} \right) \right)$$

$$B_2 = \underline{-6,4}$$

Como o valor de  $B_2$  é negativo, considera-o como sendo zero. Logo:

$$\phi = 1,382 \cdot R_{parede} \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\phi = 1,382 \cdot 0,2216 \sqrt{179,5 + 0}$$

$$\phi = \underline{4,1 \text{ horas}}$$

d) Cálculo do Fator Solar ( $FS_0$ ):

A resistência superficial externa ( $R_{se}$ ) é igual a 0,04 devido ao fluxo de calor ser na horizontal. Considerou-se o valor da absorvância ( $\alpha$ ) igual a 0,4 (reboco claro), pois não foi encontrado em nenhuma bibliografia o valor da absorvância térmica para argamassa de emboço. Assim:

$$FS_0 = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se}$$

$$FS_0 = 100 \times 2,55 \times 0,4 \times 0,04$$

$$FS_0 = \underline{4,08 \%}$$

A Tabela 14 ilustra, de forma resumida, os valores finais dos parâmetros de desempenho térmico para a parede de alvenaria com revestimento cerâmico e argamassada.

Tabela 14 - Resultado final dos parâmetros de desempenho térmico para paredes de alvenaria com revestimento cerâmico e argamassada.

Presença ou não do revestimento cerâmico	Transmitância térmica – U (W/K.m <sup>2</sup> )	Atraso térmico – $\phi$ (HORAS)	Fator solar - $FS_0$ (%)	Capacidade térmica - $C_T$ (kJ/m <sup>2</sup> .K)
Parede de alvenaria com revestimento cerâmico	2,48	4,9	1,984	248
Parede de alvenaria argamassada	2,55	4,1	4,08	216

Fonte: AUTOR.

Tabela 15 - Valores dos parâmetros de desempenho térmico para o Município de Barreiras/Bahia de acordo com as normas NBR 15220 (2003) e a NBR 15575 (2013).

Zona	NBR 15220			NBR 15575	
	U (W/m <sup>2</sup> K)	$\phi$ (Horas)	$FS_0$ (%)	U <sub>min</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	$C_{Tmin}$ (kJ/m <sup>2</sup> .K)
7	≤ 2,20 (pesada)	≥ 6,5	≤ 3,5	≤ 3,7 e $\alpha$ ≤ 0,60 ≤ 2,5 e $\alpha$ > 0,60	≥ 130

Fonte: AUTOR.

Analisando os resultados da Tabela 14, verifica-se que o parâmetro transmitância térmica possui valores diferentes em ambas as paredes. Na parede com revestimento cerâmico, o valor da transmitância térmica é inferior ao da parede de alvenaria argamassada, pois a resistência térmica da parede com revestimento cerâmico é maior em relação ao da parede argamassada.

Em relação ao parâmetro atraso térmico, a parede com revestimento cerâmico possui atraso térmico maior em relação a parede argamassada. Desta forma, o atraso térmico mais elevado contribui para a melhoria do comportamento térmico das edificações e, além disso, retardam a perda ou ganho de calor através da envolvente. Com isso, parede com revestimento cerâmico é mais eficiente quando comparado a parede argamassada.

Analisando os valores do fator solar na Tabela 14, percebe-se que o fator solar em parede com revestimento cerâmico é menor que o da parede argamassada. Desta forma, a parede argamassada tem uma maior capacidade em transmitir radiação recebida em relação a parede com revestimento cerâmico. Ainda com base na Tabela 14, verifica-se que a capacidade térmica na parede com revestimento cerâmico é maior em comparação a parede argamassada. Sendo assim, a parede com revestimento cerâmico tem maior capacidade de armazenar calor em comparação a parede argamassada.

### **3.4.3 Comparação dos Resultados Obtidos com as normas NBR 15220 e NBR 15575**

Considerando a Tabela 14, percebe-se que os valores são confrontados com o critério de desempenho apresentado Tabela 15. Os limites de transmitância térmica (U) são distintas nas duas normas existentes. Para a NBR 15220 (2003), os valores encontrados em ambas as paredes tem valores acima do máximo permitido em relação a zona bioclimática 7, sendo que, a exigência de transmitância térmica (U) é de até 2,20 W/m<sup>2</sup>K. Já para a NBR 15575 (2013) o valor da transmitância térmica para as duas paredes está abaixo do limite estabelecido para a zona bioclimática 7 ( $U \leq 3,7$ ) cumprindo, desta forma, aos requisitos da norma.

O parâmetro atraso térmico ( $\phi$ ) somente é considerado na NBR 15220 (2003). Comparando os valores encontrados na Tabela 14 com os estabelecidos pela norma (Tabela15), nenhuma das paredes atendem ao valor máximo estipulado pela norma.

Ainda analisando na Tabela 14, o fator solar também só é considerado na norma NBR 15220 (2003), visto que o valor para parede com revestimento cerâmico está dentro do

limite permitido pela norma ( $FS_0 \leq 3,5$ ). Porém, o valor do fator solar em relação a parede argamassada está acima do limite não cumprindo, desta forma, os requisitos da norma. Já os valores da capacidade térmica em ambas as paredes estão de acordo com o valor limite estabelecido pela norma NBR 15575 (2013).

Desta forma, conclui-se que, em relação a NBR 15220 (2003), ambas as paredes não são adequadas para o município de Barreiras/Bahia. Entretanto, conforme a NBR 15575 (2013), as duas paredes atendem aos requisitos de tal norma.

As possíveis soluções para melhorar o desempenho térmico das paredes e garantir o conforto térmico ao usuário seriam:

- ✓ Aumentar a espessura da parede. Por exemplo, assentar os blocos cerâmicos na horizontal ao invés de assentá-los na vertical;
- ✓ Utilizar parede dupla com câmara de ar;
- ✓ Resfriamento artificial e umidificação;
- ✓ Inércia térmica por resfriamento;

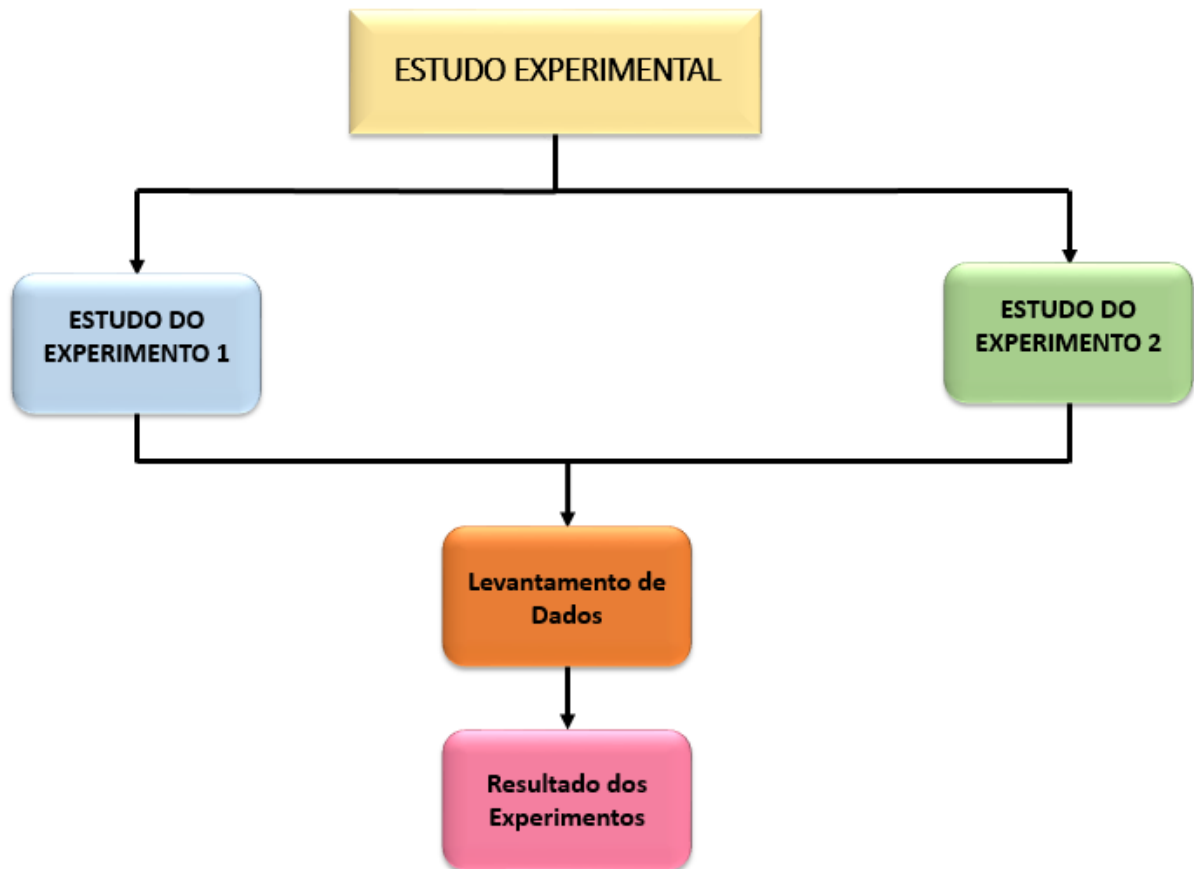
As soluções citadas acima requerem maior custo. Desta forma, visando a qualidade dos usuários e o custo da obra, o mais viável seria aumentar a espessura da parede quando comparado com as outras soluções.

#### **4. ESTUDO EXPERIMENTAL**

Este capítulo visa apresentar a metodologia utilizada para a determinação do gradiente de temperatura das paredes de alvenaria com e sem revestimento cerâmico nas orientações norte e sul. Primeiramente, apresenta-se o estudo do experimento 1 e do experimento 2 abordando a definição do objeto, a descrição do experimento e o aparelho utilizado para mensurar as temperaturas. Posteriormente realiza-se o procedimento aplicado para a obtenção dos dados. Por fim, são feitas as discussões dos resultados obtidos.

O fluxograma 2 mostra, de forma resumida, a metodologia adotada no estudo experimental.

Fluxograma 2 – Metodologia aplicada no estudo experimental.



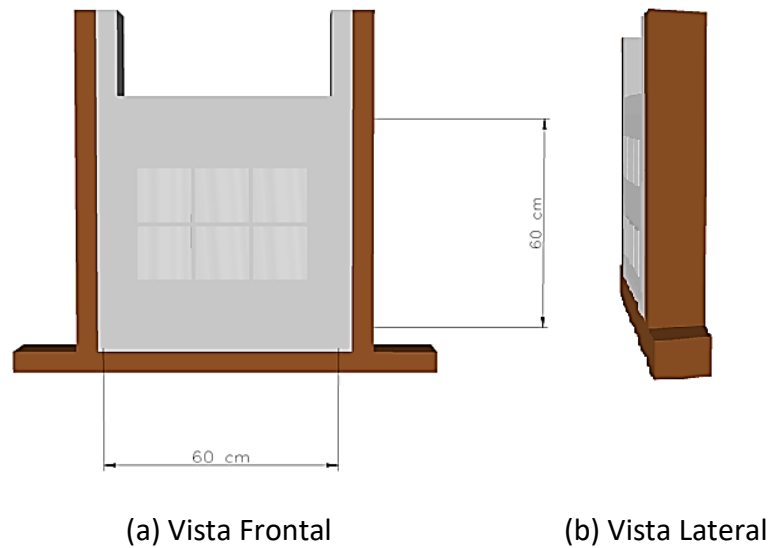
Fonte: AUTOR.

#### 4.1 Estudo do Experimento 1 (Parede com revestimento cerâmico)

##### 4.1.1 Definição do Objeto em Estudo 1

Para avaliar o desempenho térmico das edificações foi utilizada uma parede móvel com as seguintes dimensões: 60 cm de altura e 60 cm de largura. A parede é composta por blocos cerâmicos, argamassa de assentamento, argamassa de emboço (camada única), argamassa colante, seis placas cerâmicas e, por fim, o restante do substrato foi revestido com cal com o objetivo de uniformizar a radiação recebida a qual simula a pior condição com a cor branca (Figura 52) (TANAKA, 2016).

Figura 52 - Modelo, em 3D, da parede móvel com revestimento cerâmico



Fonte: AUTOR.

Conforme (TANAKA, 2016) os materiais utilizados para a construção e suporte da parede móvel com revestimento cerâmico (Figura 53) foram:

- Bloco cerâmico de oito furos com as seguintes dimensões: 9cm x 19cm x 19cm;
- Areia fina lavada;
- Argamassa colante do tipo AC-III;
- Placa cerâmica de cor branca com as seguintes dimensões: 15,5 cm x 16,5 cm x 0,5 cm de espessura;
- Cimento Portland do tipo CII-Z-32 RS;
- Cal hidratada do tipo CH-III;
- Barra de aço de diâmetro igual a 9,5mm, com porcas tipo borboleta e aruelas lisas;
- Cantoneiras de abas desiguais;
- Parafusos atarraxantes, ponta agulha, tipo trombeta;
- Placas de poliestireno expandido (isopor) com espessura de 3 cm;
- Tábuas de Madeira com as seguintes dimensões: 80 cm x 13 cm x 2,5 cm.

Figura 53 - Vista frontal da parede móvel.



Fonte: AUTOR.

De acordo com Tanaka (2016), o processo construtivo da parede baseou-se em etapas (Figura 54):

A primeira etapa, montou-se a estrutura da madeira sendo sustentada por cantoneiras metálicas, considerando a largura dos tijolos, as espessuras das juntas de assentamento e das placas de isopor. O isopor foi colocado na base e nas laterais da estrutura.

A segunda etapa consistiu no assentamento da primeira fiada de blocos cerâmicos, empregando traço de 1:1:5 (cimento: cal: areia). Posteriormente, assentaram-se as duas fiadas restantes.

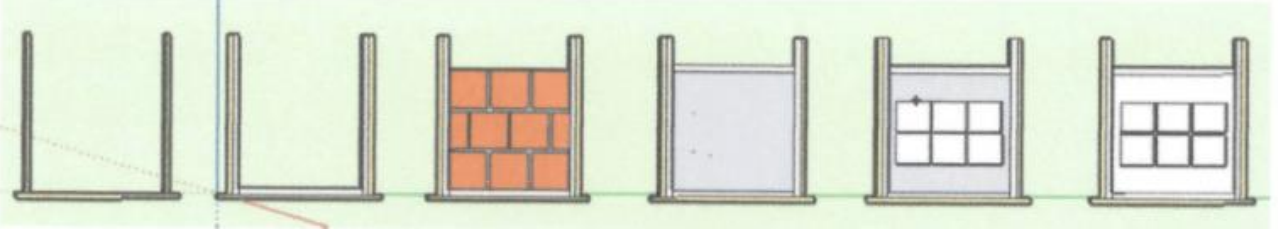
A terceira etapa aplicou-se a camada de massa única de espessura aproximadamente 2 cm, com traço de 1:1:5.

Para a quinta etapa a parede foi envolvida com cobertura de nylon a fim de mitigar fissuras por perda de água, durante um período de sete dias.

Na sexta etapa foram assentadas as placas cerâmicas de dimensões 15,5 cm de altura e 16,5 cm de comprimento utilizando argamassa colante ACIII.

Por fim, toda a camada de massa única foi revestida com três demãos de cal com intuito de se obter uma superfície completamente branca.

Figura 54 - Etapa construtiva da parede de bloco cerâmico.



Fonte: TANAKA, 2016.

Posteriormente, delimitou-se essa mesma parede com placas de isopor para manter o ambiente interno com temperatura diferente em relação ao ambiente externo, simulando o que acontece numa edificação (Figura 55). Na parte superior do objeto em estudo, foi feita um orifício para a determinação da temperatura interna da mesma.

Figura 55 - Parede móvel delimitada com placas de isopor.

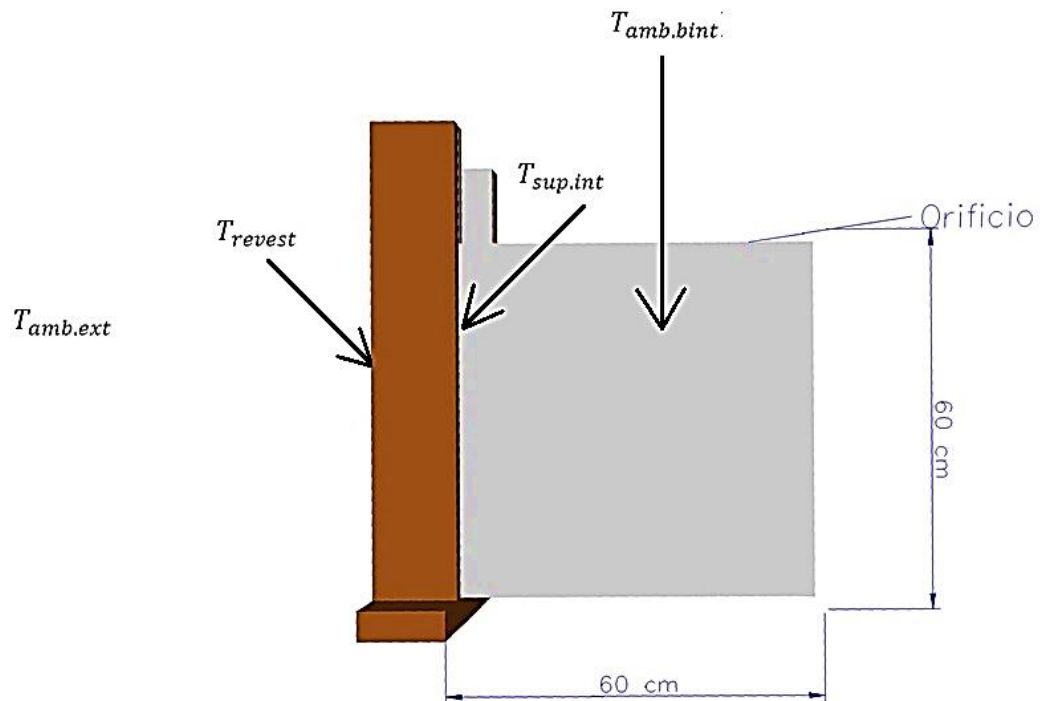


Fonte: AUTOR.

#### 4.1.2 Descrição do experimento 1

O experimento 1 foi realizado na Universidade Federal do Oeste da Bahia, no município de Barreiras/Bahia, durante o período de 2 (dois) dias (10 e 11 de agosto) no mês de agosto no ano de 2017, com intuito de obter valores da temperatura ambiente externa ( $T_{amb.ext}$ ), temperatura do revestimento ( $T_{revest}$ ), temperatura superficial interna da parte traseira ( $T_{sup.int}$ ) e temperatura ambiente interna ( $T_{amb.int}$ ) (Figura 56). Utilizou-se o instrumento termômetro digital com 4 (quatro) termopares para mensurar as temperaturas. Tais medições foram realizadas em intervalos de 1 (uma) hora na direção norte e sul dos hemisférios com início às 8:00 horas e término às 18:00 horas.

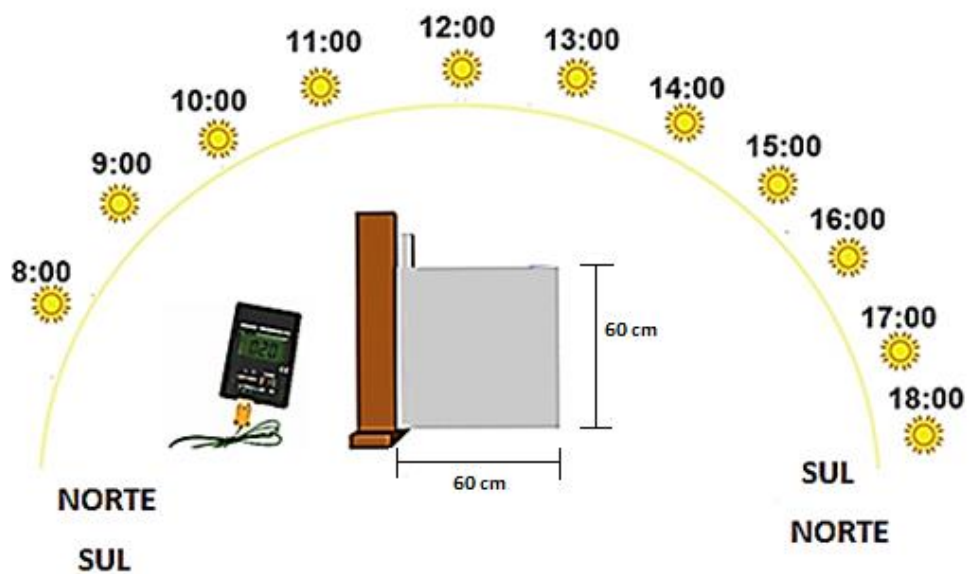
Figura 56 - Esquema, em 3D, do objeto em estudo com as respectivas variáveis a serem mensuradas.



Fonte: AUTOR.

A Figura 57 exemplifica os horários das mensurações de radiação térmica, utilizando o termômetro digital, na direção norte e direção sul.

Figura 57 - Horários de medições de radiação térmica por meio do termômetro digital para uma das orientações.



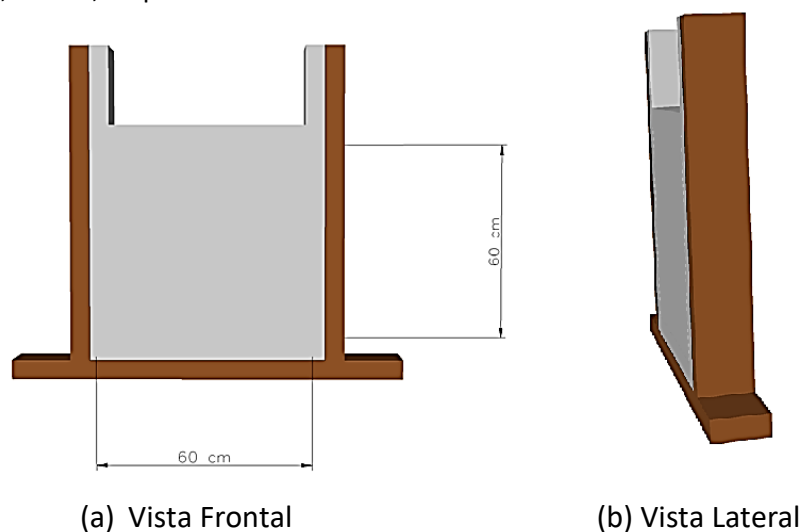
Fonte: AUTOR.

## 4.2 Estudo do Experimento 2 (Parede sem revestimento cerâmico)

### 4.2.1 Definição do Objeto em Estudo 2

Utilizou-se uma parede móvel com dimensões de 60 cm de altura e 60 cm de largura, sendo composta por blocos cerâmicos, argamassa de assentamento e argamassa de emboço (camada única) (Figura 58).

Figura 58 - Modelo, em 3D, da parede móvel sem revestimento cerâmico.



Fonte: AUTOR

Os materiais utilizados para a construção e suporte da parede móvel argamassada foi o mesmo para o da parede móvel com revestimento cerâmico e se encontram na página 92 (Figura 59). Além disso, o processo construtivo da parede móvel argamassada foi de maneira similar ao da parede com revestimento cerâmico (página 94).

Figura 59 - Parede móvel sem revestimento cerâmico.



Fonte: AUTOR.

Em seguida, a parede móvel foi limitada por placas de isopor de espessura 3 cm cada, com o objetivo de preservar a temperatura ambiente externa diferente da temperatura ambiente interna simulando uma edificação (FIGURA 60).

Figura 60 - Parede móvel sem o revestimento limitada por placas de poliestireno (isopor).



Fonte: AUTOR.

#### 4.2.2 Descrição do experimento 2

O experimento 2 foi realizado no mesmo local que o experimento 1 durante o período de 2 (dois) dias (14 e 15 de agosto) no mês de agosto no ano de 2017. Aplicou-se o mesmo procedimento do experimento 1 para mensurar a temperatura ambiente externa ( $T_{amb.ext}$ ), temperatura do revestimento ( $T_{revest}$ ), temperatura superficial interna da parte traseira ( $T_{sup.int}$ ) e temperatura ambiente interna ( $T_{amb.bint}$ ).

#### 4.2.3 Equipamento

Para mensurar as medidas da temperatura durante a pesquisa, utilizou-se o termômetro digital com sensor termopar tipo K modelo TM902C (Figura 61). A Tabela 16 representa as características do termômetro digital com sensor termopar tipo k.

Figura 61 - Termômetro digital com sensor termopar tipo k.



Fonte:<<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-883410349-termmetro-digital-termopar-tipo-k-tm-902c-JM?source=gps>>

Acesso em: 22/08/2017

Tabela 16 - Características do termômetro digital com sensor termopar.

Parâmetro	Característica
Resolução	1 ° C
Sensor de temperatura	Termopar tipo k
Faixa de medição	- 50°C a 700 °C
Alimentação	2 Pilhas AAA 1,5 V
Precisão	+/- 0,75% fs
Comprimento do cabo do sensor	95 cm
Peso	72g

Fonte:<<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-883410349-termmetro-digital-termopar-tipo-k-tm-902c-JM?source=gps>>.

Acesso em: 22/08/2017

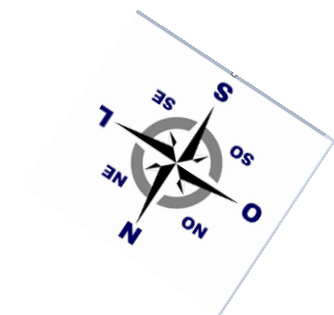
### 4.3 Levantamento de Dados

#### 4.3.1 Levantamento de Dados para Parede Móvel com Revestimento Cerâmico

Para efetuar a mensuração da temperatura ambiente externa ( $T_{amb.ext}$ ), temperatura do revestimento ( $T_{revest}$ ), temperatura superficial interna da parte traseira ( $T_{sup.int}$ ) e temperatura ambiente interna ( $T_{amb.int}$ ), o objeto em estudo foi deixado em

um local fixo no dia 9 de agosto de 2017 com a parte do revestimento cerâmico voltado para a orientação norte (Figura 62). Colocou-se os termopares na área externa para definir a temperatura ambiente externa ( $T_{amb.ext}$ ), no revestimento cerâmico com intuito de determinar a temperatura do revestimento ( $T_{revest}$ ), na parte traseira interna para encontrar a temperatura superficial interna da mesma ( $T_{sup.int}$ ) e dentro do objeto em estudo para determinar a temperatura ambiente interna ( $T_{amb.int}$ ). No dia 10 de agosto de 2017, às 8:00 horas, realizou-se a primeira mensuração com o aparelho termômetro digital e, as outras medidas, foram aferidas a cada hora totalizando onze medidas até às 18:00 horas. Depois de finalizar a medição das temperaturas para a orientação norte, a parte do revestimento cerâmico foi colocado para a orientação sul. No dia 11 de agosto de 2017, aplicou-se o mesmo procedimento para obter os valores das temperaturas.

Figura 62 - Objeto em estudo com a parte do revestimento cerâmico voltado para a orientação norte.



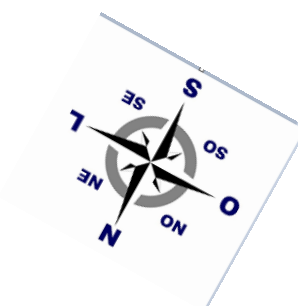
Fonte: AUTOR.

#### 4.3.2 Levantamento de Dados para Parede Móvel Argamassado

Para a aferição da temperatura ambiente externa ( $T_{amb.ext}$ ), temperatura do revestimento ( $T_{revest}$ ), temperatura superficial interna da parte traseira ( $T_{sup.int}$ ) e temperatura ambiente interna ( $T_{amb.int}$ ), o objeto em estudo permaneceu no mesmo local que a parede móvel com revestimento cerâmico e voltado para a orientação norte (Figura 63). Os termopares foram colocados de maneira similar ao da parede móvel com

revestimento cerâmico. No 14/08/2017, às 8:00 horas, realizou-se a primeira medida com o aparelho termômetro digital e, as demais medidas, foram mensuradas a cada hora gerando um total de onze medidas até às 18:00 horas. Após finalizar a medição das temperaturas para a orientação norte, o objeto foi colocado para a orientação sul, sendo que no dia seguinte às 8:00 horas, utilizou-se o mesmo procedimento para obter os valores das temperaturas até finalizar as medidas às 18:00 horas.

Figura 63 - Objeto em estudo com voltado para a orientação norte.



Fonte: AUTOR.

#### **4.4 Resultado dos Experimentos**

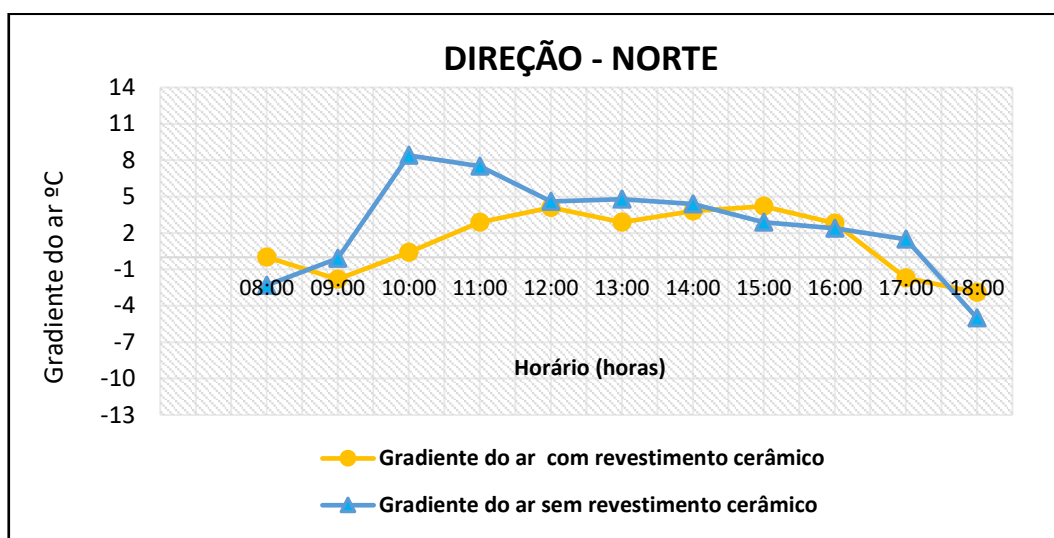
Neste item serão apresentados os resultados dos experimentos 1 e 2 sendo feita a análise do comportamento do gradiente de temperatura do ar, do gradiente de temperatura de superfície, e da temperatura ambiente interna para as orientações norte e sul. Além disso, por meio da avaliação do gradiente, são determinados as possíveis estratégias para cada situação que visam melhorar o desempenho térmico.

##### **4.4.1 Comparação do Comportamento do Gradiente do ar das Paredes com Revestimento Cerâmico e Argamassada (sem revestimento cerâmico) – Direções Norte e Sul**

A seguir, são expostos os gráficos dos gradientes da temperatura do ar para as paredes com revestimento cerâmico e argamassado. Os dados obtidos das temperaturas para as orientações norte e sul encontram-se no anexo A.

As Figuras 64 e 65 mostram o comportamento do gradiente de temperatura do ar que corresponde a temperatura ambiente externa menos a temperatura ambiente interna ( $T_{amb.ext} - T_{amb.int}$ ) para as paredes com revestimento cerâmico e argamassado para as orientações norte e sul, respectivamente.

Figura 64 - Gráfico do comportamento do gradiente do ar para a orientação norte.



Analisando a Figura 64, percebe-se que o gradiente do ar para as duas paredes permanecem a maior parte do tempo acima de zero. Das 8:00 às 9:00 horas da manhã, o gradiente do ar, para a parede com revestimento cerâmico é igual a zero, pois os valores das temperaturas ambiente externa ( $T_{amb.ext}$ ) e interna ( $T_{amb.int}$ ) são equivalentes. Até às 9:00 horas verifica-se que o gráfico decresceu, ou seja, o valor do gradiente passou a ser negativo o que significa que a temperatura ambiente interna sobressaiu em relação a temperatura ambiente externa. A explicação para isto é que a parede com revestimento cerâmico absorveu a radiação proveniente da orientação nos horários das 6:00 às 7:00 horas aumentando a temperatura ambiente interna. Já para a parede argamassada, no intervalo de 8:00 às 9:00 horas, a temperatura ambiente interna do objeto é maior que a temperatura ambiente externa, pois os valores do gradiente do ar, neste período, possuem valores negativos. A possível causa para tal fato é que durante a noite o calor é liberado para o ambiente interno devido ao armazenamento de calor no interior da parede durante o dia elevando, desta forma, a temperatura interna.

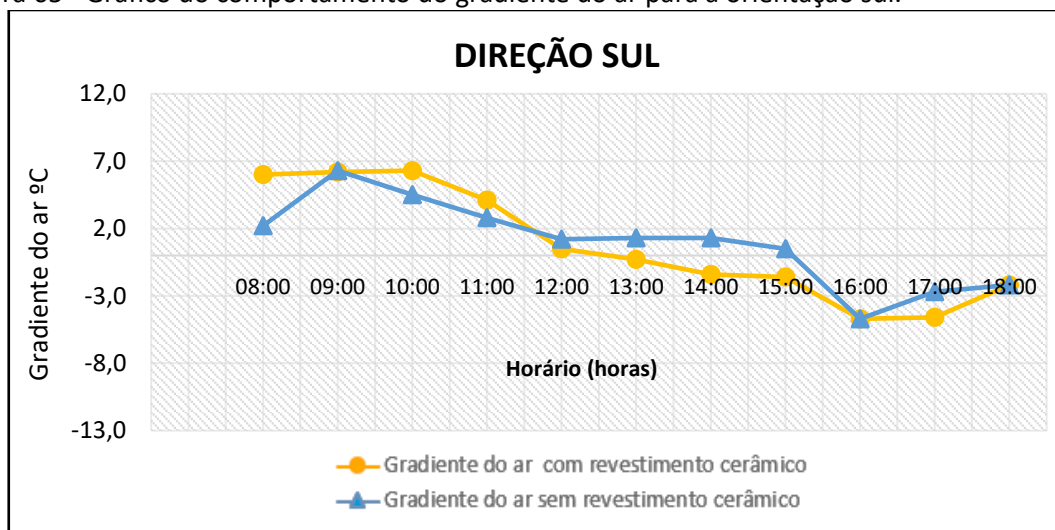
Para a parede com revestimento cerâmico, no intervalo de 10:00 horas até próximo das 17:00 horas, houve variação no gráfico, mas o gradiente do ar permaneceu com valores

positivos atingindo valor máximo às 12:00 horas. Este fato se deu em razão da superfície da parede com revestimento cerâmico refletir boa parte da radiação incidente, pois a mesma, além de ser revestida com placas cerâmicas, possui substrato de cor branca o que faz refletir a maioria da radiação recebida. Assim, a parcela de radiação absorvida é pequena o que contribui para a temperatura ambiente interna seja inferior a temperatura ambiente externa. Para parede argamassada, às 10:00 horas, o gradiente atinge valor máximo passando a ter valores positivos até por volta das 17:00 horas.

Por volta das 17:00 até 18:00 horas, o gradiente do ar passou, de ambas as paredes, passou novamente a ter valores negativos. A possível explicação para tal fato pode ser devido a inércia térmica da parede, pois ao conduzir calor da superfície externa para a superfície interna, o material que constitui a parede retém parte do calor no seu interior por causa da sua massa térmica. Este calor será transferido para o ambiente interno quando a temperatura do ar for menor que a temperatura da superfície e, como consequência, aumentando a temperatura ambiente interna do objeto em estudo. O ideal seria que a temperatura ambiente interna começasse a ser maior durante a madrugada quando o ar é normalmente mais frio e, desta forma, contribuindo para reduzir as oscilações das temperaturas internas proporcionando conforto aos usuários. Com este intuito em adiar a transferência de calor para o ambiente interno, a solução seria aumentar a espessura da parede. Por exemplo, parede dupla com câmara de ar, assentar bloco na horizontal, aumentar a espessura da argamassa de emboço externa. Lembrando que deve-se considerar a solução que é economicamente mais viável e que garanta melhor conforto térmico aos usuários.

Analisando os gráficos conjuntamente, percebe-se que o gradiente do ar da parede com revestimento cerâmico possui valores menores ao longo da mensuração quando comparado com a parede argamassada. Tal situação pode ser explicada pelo fato da parede com revestimento cerâmico refletir boa parte da radiação incidente, pois o seu substrato possui cor branca e a absorvidade para cores claras é bem baixa. Já a parede argamassada possui cor mais escura em relação a parede com revestimento cerâmico, o que contribui para absorver maior parte da radiação incidente, fazendo com que o gráfico do mesmo tenha variações elevadas.

Figura 65 - Gráfico do comportamento do gradiente do ar para a orientação sul.



Observando o gráfico da Figura 65 verifica-se que, para a parede com revestimento cerâmico, o gradiente do ar varia ao longo do tempo. No intervalo das 8:00 às 12:00 horas o gradiente do ar sofreu variação, mas permaneceu com valores positivos, atingindo o pico às 10:00 horas, o que significa que a temperatura ambiente externa ( $T_{amb.ext}$ ) é maior que a temperatura ambiente interna ( $T_{amb.int}$ ). Para a parede argamassada, é possível observar que, no horário das 8:00 horas até às 15:00 horas, o gradiente do ar sofre variações, atingindo o valor máximo às 9:00 horas. Dentro deste intervalo de tempo, o gradiente do ar permanece com valores acima de zero o que implica que a temperatura ambiente externa permanece maior que a temperatura ambiente interna do objeto em estudo. Esse fato pode ser explicado em razão da temperatura do ar, no período da noite, ser mais baixa fazendo com que a temperatura no interior do objeto diminua durante o período noturno. Assim, logo no início da manhã do dia seguinte, a temperatura ambiente interna do objeto ainda permanece com a temperatura da noite anterior o que faz com que a temperatura ambiente externa seja maior que a temperatura ambiente interna logo nas primeiras horas do dia.

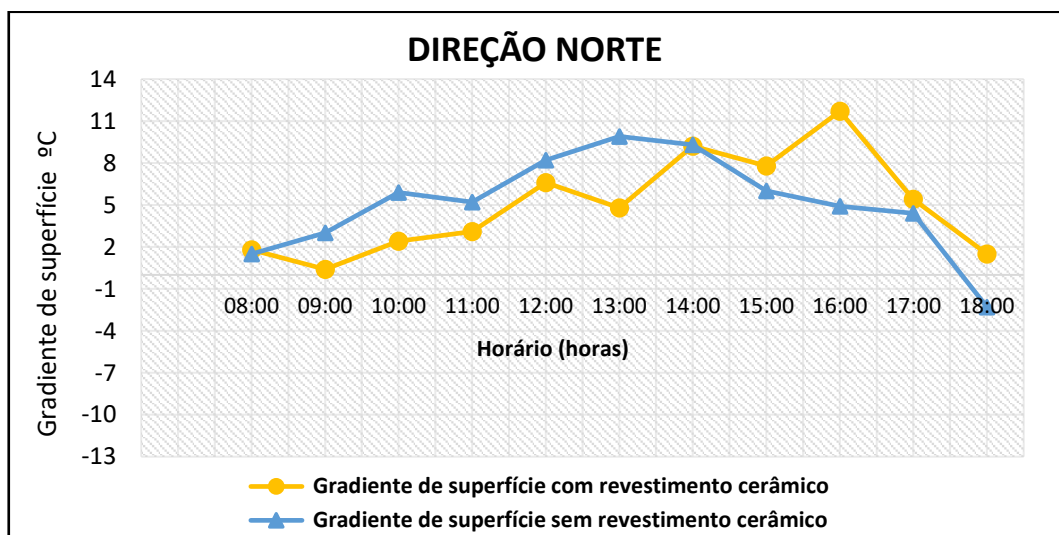
Para a parede com revestimento cerâmico, dentro do intervalo de 13:00 até às 18:00 horas, o gradiente do ar passa a ter valores negativos, ou seja, a temperatura ambiente interna do objeto em estudo está mais elevada em comparação a temperatura ambiente externa. Já para a parede argamassada, após às 15:00 horas, verifica-se que o gradiente do ar decresce atingindo valor mínimo às 16:00 horas e o mesmo permanece com valor negativo até o término da medição. A provável explicação para isto é que a parte traseira

do objeto em estudo, constituída de isopor, está para a orientação norte que recebe radiação solar praticamente durante o período do dia e, desta forma aquece o isopor (isolante térmico) fazendo com que a temperatura ambiente interna fique maior quando comparada a temperatura ambiente externa calor para o interior gerando o aumento da temperatura ambiente interna. A solução, seria utilizar uma manta refletiva para evitar tal acontecimento.

#### 4.4.2 Comparação do Comportamento do Gradiente de Temperatura de Superfícies Externa e Interna entre as Paredes com Revestimento Cerâmico e Argamassada (sem revestimento cerâmico) – Direção Norte e Sul

Os dados coletados das temperaturas nas orientações norte e sul contam no anexo A. As Figuras 66 e 67 apresentam o comportamento do gradiente de temperatura da superfície que equivale a diferença entre as temperaturas superficiais externa e interna ( $T_{sup.ext} - T_{sup.int}$ ) das paredes com revestimento cerâmico e argamassada para as direções norte e sul, respectivamente.

Figura 66 - Gráfico do comportamento do gradiente de superfície para a orientação norte.

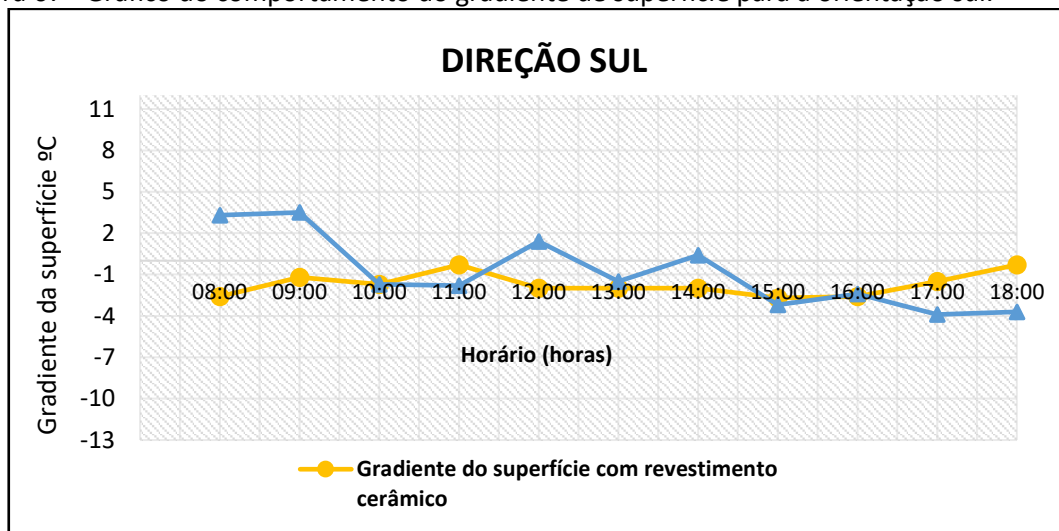


Por meio do gráfico da Figura 66, é possível identificar que o gradiente de superfície, para os dois tipos de paredes, possui valores acima de zero durante a realização do experimento. Porém, percebe-se que existe diferença entre os gradientes para ambas as paredes. No intervalo de 8:00 até às 14 horas, o gradiente de superfície da parede

argamassada permanece superior quando comparado ao da parede com revestimento cerâmico. A possível explicação para tal fato é que a parede com revestimento cerâmico reflete boa parte da radiação solar enquanto que a parede argamassada absorve em maior quantidade. Como consequência, a superfície externa da parede argamassada aquece bem mais rápido em relação a superfície externa da parede com revestimento cerâmico. Às 14:00 horas o gradiente de superfície da parede argamassada diminui até o fim do experimento, atingindo valor máximo às 13:00 horas. O gradiente da parede com revestimento cerâmico atinge o pico às 16:00 horas, reduzindo o valor até o término do experimento. Tal fato pode ser explicado porque a parede argamassada possui a capacidade de absorver mais rapidamente a irradiação solar, pois o mesmo possui cor mais escura em relação a parede com revestimento cerâmico. Assim, a transferência de calor de uma superfície a outra ocorre de forma mais rápida em comparação com a parede com revestimento cerâmico.

A solução mais viável seria a utilização de uma manta refletiva para reduzir os valores dos gradientes de ambas as paredes.

Figura 67 - Gráfico do comportamento do gradiente de superfície para a orientação sul.



O gráfico da Figura 67 mostra que o gradiente de superfície da parede com revestimento cerâmico teve valores abaixo de zero durante todo o período de mensuração. Enquanto isso, o gradiente de superfície da parede argamassada teve valores acima de zero em alguns intervalos de tempo e valores abaixo de zero na maior parte do tempo.

A explicação plausível para tal situação se deve ao fato de que ambas as paredes estão voltadas para a orientação sul que não recebe radiação solar direta.

Pelo fato do gráfico de ambas as paredes possuírem o mesmo comportamento, qualquer uma delas pode ser escolhida para a orientação sul.

Outro motivo que faz a temperatura superficial interna sobressair em relação a temperatura superficial externa é que a parte traseira do objeto em estudo, constituída de isopor, está para a orientação norte recebendo, desta forma, radiação solar durante o dia fazendo com que o isopor (isolante térmico) aqueça e aumentando a temperatura ambiente interna.

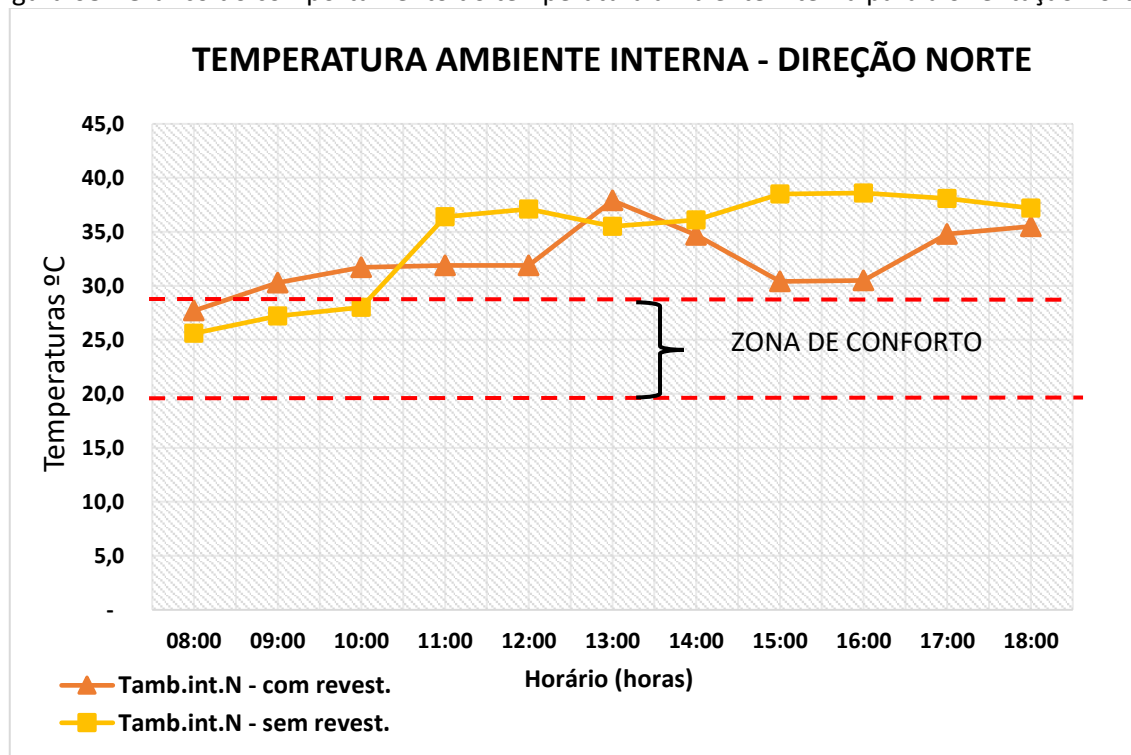
#### **4.4.3 Comparação do Comportamento da Temperatura Ambiente Interna das Paredes com Revestimento Cerâmico e Argamassada (sem revestimento cerâmico) – Direções Norte e Sul**

As Figuras 68 e 69 exibem o comportamento da temperatura ambiente interna para ambas as paredes nas orientações norte e sul respectivamente. A zona de conforto, segundo Givoni (1969), corresponde as temperaturas entre 18°C e 29°C. Os valores da temperatura ambiente interna se encontram no anexo A deste trabalho.

Através do gráfico da Figura 68 verifica-se que a temperatura ambiente interna para a parede com revestimento cerâmico é maior em relação ao da parede argamassada logo no início do experimento, prevalecendo assim até às 10:00 horas. Depois das 10:00 horas até próximo das 13:00 horas, a temperatura para a parede com revestimento cerâmico torna-se inferior quando comparada ao da parede argamassada, sofrendo um pequeno acréscimo logo após às 13:00 horas. A partir das 14:00 horas a temperatura para parede com revestimento cerâmico diminui consideravelmente adquirindo valores mais baixos que aos da parede sem revestimento cerâmico até o fim da mensuração.

Conclui-se que as paredes com revestimento cerâmico e argamassada (sem revestimento cerâmico) não são apropriadas para o município de Barreiras/Bahia, pois a temperatura ambiente interna das duas paredes não atinge a zona de conforto no período mais quente do dia (13:00 até as 16:00 horas).

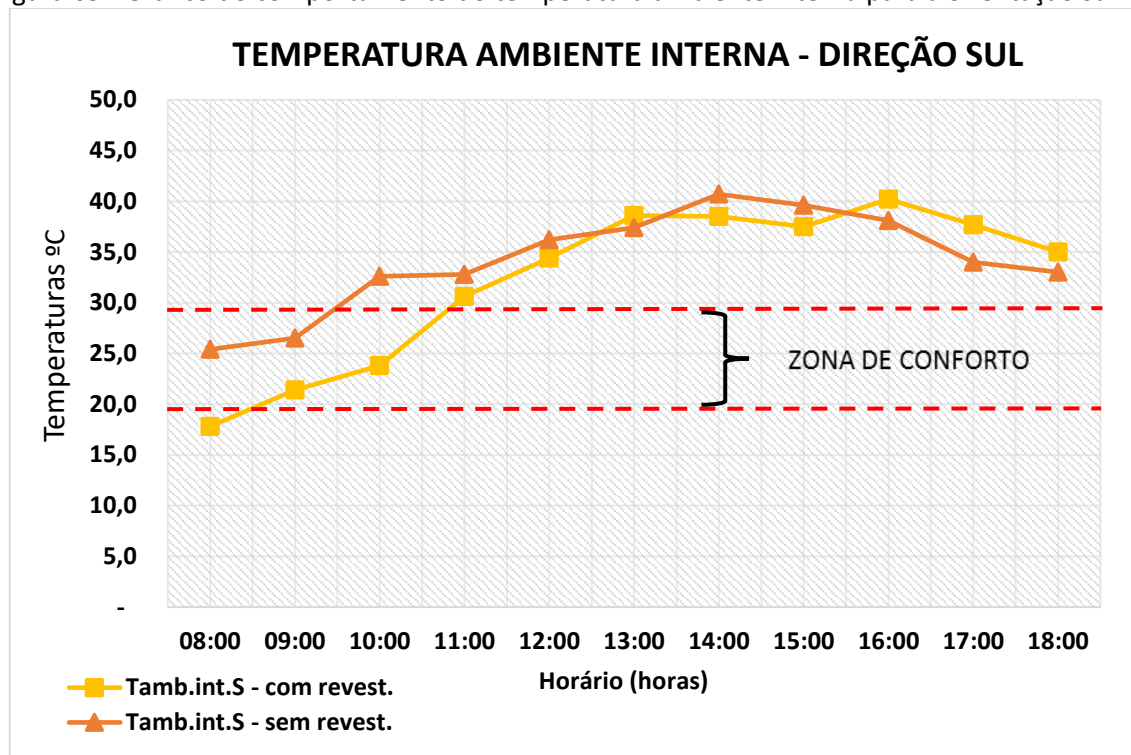
Figura 68 - Gráfico do comportamento do temperatura ambiente interna para a orientação norte.



Analisando o gráfico da Figura 69 verifica-se que a temperatura ambiente interna para a parede argamassada permanece superior em relação ao da parede com revestimento cerâmico nos intervalos das 8:00 até aproximadamente às 13:00 horas e por volta das 14:00 até às 15:00 horas. A partir das 15:00 horas a temperatura ambiente interna da parede argamassada começa a decrescer. Já, no mesmo horário, a temperatura ambiente interna da parede com revestimento cerâmico sobressai em relação ao da parede argamassada.

Portanto, ambas as paredes possuem o mesmo comportamento no gráfico, atingindo a zona de conforto no período das 8:00 até às 11:00 horas da manhã. Já nos horários mais quentes do dia (13:00 até as 16:00 horas), as temperaturas permanecem acima da zona de conforto e, desta forma, comprova-se que as duas paredes analisadas não são adequadas para a direção sul.

Figura 69 - Gráfico do comportamento do temperatura ambiente interna para a orientação sul.



#### 4.4.4 Comparação do Comportamento da Temperatura Ambiente Interna da Parede com Revestimento Cerâmico – Direções Norte e Sul

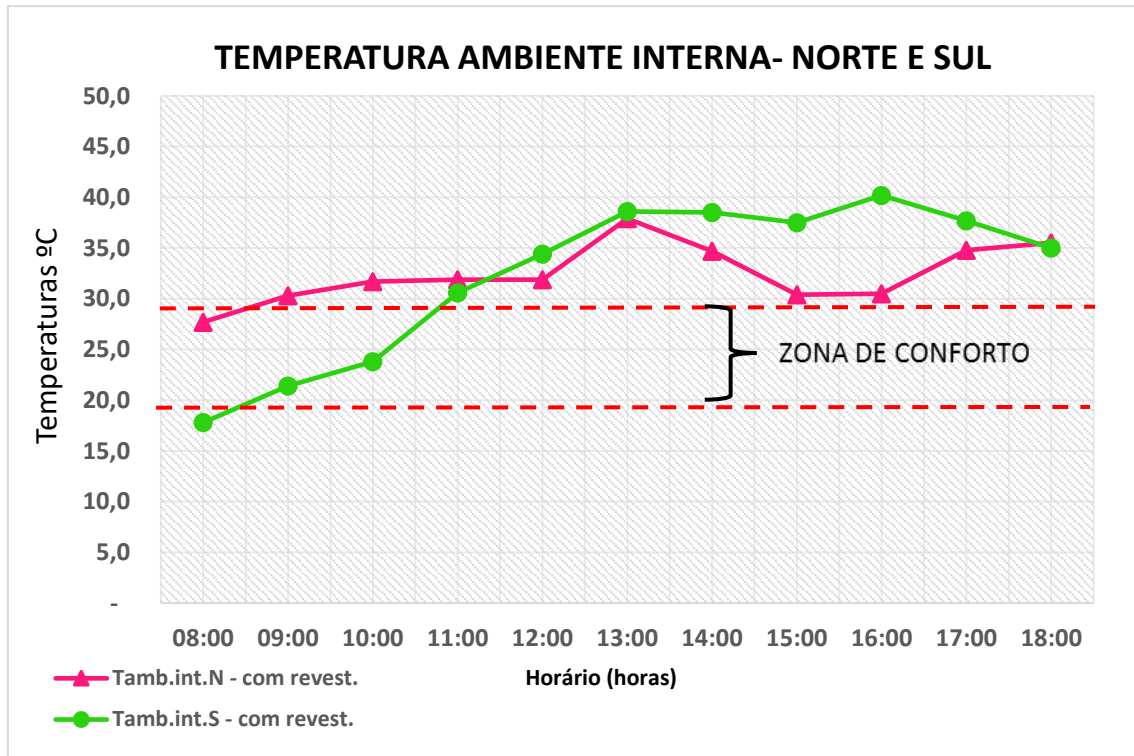
O gráfico da Figura 70 mostra o comportamento da temperatura ambiente interna da parede com revestimento cerâmico para as orientações norte e sul. Os valores da temperatura ambiente interna se encontram no anexo A deste trabalho.

Observando o gráfico da Figura 71 verifica-se que, logo no início da mensuração, às 8:00 horas, a temperatura ambiente interna para a direção norte é maior em relação a temperatura ambiente interna para a direção sul. Por volta das 12:00 horas a temperatura ambiente interna para a direção sul sobressai em comparação a direção norte atingindo o valor máximo às 16:00 horas. Na orientação norte a temperatura ambiente interna chega ao pico às 13:00 horas e, a mesma, permanece inferior em comparação ao da orientação sul no intervalo de 13:00 até às 17:00 horas, sendo que às 18:00 horas ambas as temperaturas (norte e sul) praticamente torna-se equivalentes.

Conclui-se que, a parede com revestimento cerâmico, atinge a zona de conforto no intervalo das 8:00 e 10:00 horas para a orientação sul e, para a orientação norte, no período das 8:00 até aproximadamente as 9:00 horas. No horário considerado mais quente do dia

(13:00 às 16:00 horas) a temperatura ambiente interna da parede não atingiu a zona de conforto, o que significa que a parede com revestimento cerâmico não é adequada para as orientações norte e sul.

Figura 70 - Gráfico da temperatura ambiente interna nas direções norte e sul.



#### 4.4.5 Comparação do Comportamento da Temperatura Ambiente Interna da Parede Argamassada (sem revestimento cerâmico) – Direções Norte e Sul

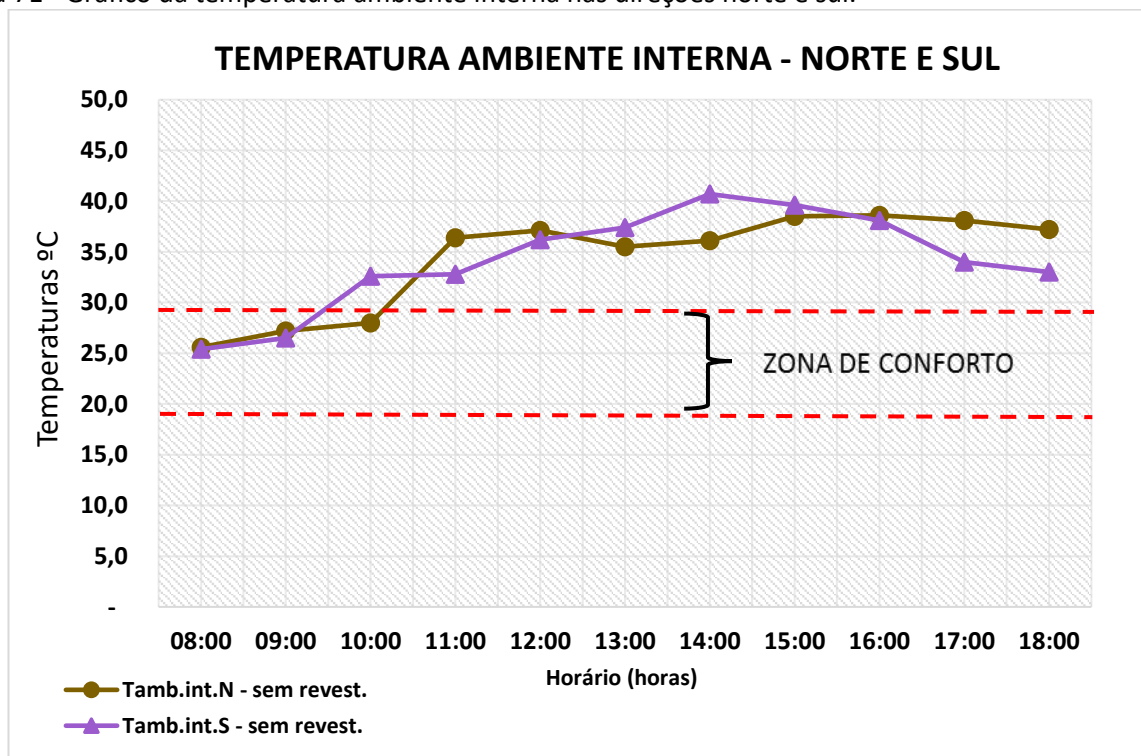
Considerando o gráfico da Figura 71 verifica-se que, para ambas as orientações, a temperatura ambiente interna no intervalo de 8:00 às 9:00 horas permanece com valores próximos um em relação ao outro. Às 10 horas, a temperatura para a direção sul se eleva enquanto que, para a orientação norte, a temperatura não teve variação significativa. No intervalo de 10:00 até às 11:00 horas, a temperatura para a direção norte tornou-se mais alta em comparação a direção sul, alcançando o valor máximo nesse horário. No período de 11:00 até às 12:00 horas, a temperatura para a direção sul variou, mas não ultrapassando a temperatura para a direção norte na qual permaneceu praticamente inalterada. A partir das 12:00 horas a temperatura para a direção sul adquire valores maiores quando comparada com a orientação norte, atingindo valor máximo às 14 horas.

A temperatura para a direção norte volta a aumentar e, na direção sul, começa a reduzir até o término da mensuração.

Na orientação sul, a partir das 9:00 horas, a temperatura ambiente interna passa a ter valores elevados permanecendo assim até o término da mensuração. Assim, nesse período há maior desconforto térmico. No que diz respeito a orientação norte, a temperatura começa a adquirir valores altos por volta das 10:00 horas até o fim da medição. Desta forma, a sensação de desconforto térmico estará presente dentro deste intervalo.

Portanto, verifica-se que não há muita diferença na temperatura ambiente interna para ambas as orientações. Assim, o gráfico da Figura 75 mostra que a parede argamassada não é apropriada para o município de Barreiras/Bahia para ambas as orientações, pois nos horários considerados mais quentes do dia a temperatura ambiente interna permanece afastada da zona de conforto.

Figura 71 - Gráfico da temperatura ambiente interna nas direções norte e sul.



## **5. CONCLUSÕES**

O presente trabalho constatou, por meio do estudo teórico, que o desempenho térmico para o Município de Barreiras situado na zona bioclimática 7 não atendeu aos requisitos prescritivos na norma NBR 15220 (2003) tais como: transmitância térmica e atraso térmico para parede com revestimento cerâmico; e transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para parede argamassada (sem revestimento cerâmico). Entretanto, em relação a norma NBR 15575 (2013), ambas as paredes obtiveram resultados aceitáveis destes parâmetros conforme recomenda tal norma.

No estudo experimental foi possível identificar os horários mais favoráveis que geram o conforto térmico e os horários mais desfavoráveis que causam desconforto térmico para as paredes com revestimento cerâmico e argamassada. Constatou-se que os horários propícios que geram conforto térmico para as duas paredes são as 8:00, 9:00 e 10:00 horas nas orientações norte e sul. Já o desconforto térmico surge nos horários mais quentes do dia, a partir das 13:00 até às 16:00 horas.

Portanto, conclui-se que as paredes de blocos cerâmicos de 8 furos com revestimento cerâmico e argamassada não são apropriadas para o município de Barreiras/Bahia.

## **6. SUGESTÕES**

- Obtenção de dados locais no período de 24 horas para verificar o comportamento das temperaturas ambiente externa, do revestimento (superfície externa), da superfície interna e do ambiente interno das tipologias construtivas;
- Procurar outros meios de avaliar o desempenho térmico de habitações, testando outras tecnologias e soluções construtivas;
- Fazer avaliação do desempenho térmico em residências habitadas.

## 7. REFERÊNCIAS

ABREU, A. L. **Método Estimativo da Temperatura Interna de Edificações Residenciais em Uso**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

ALVIM, L.. **Avaliação do Desempenho e do Conforto Térmico de uma Edificação Ventilada Naturalmente Segundo as Normas Brasileiras de Desempenho Térmico e ASHRAE 55**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: Associação Brasileira de Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270: Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural e de Vedação - Metodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136: Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria-Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220. Desempenho Térmico de Edificações. Rio De Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Edificações Habitacionais – Desempenho, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724: Informação e Documentação - Trabalhos Acadêmicos – Apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

BELLO, L. **Análise do Desempenho de Conforto Térmico de Projetos de Habitações Unifamiliares em Pato Branco, Pr**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

BOGO, A.; PIETROBON; C. BARBOSA; M. J. GOULART; S. PITTA; LAMBERTS, R. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto De Edificações Visando o Conforto Térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

CAVALCANTE, M. A. **Análise da Influência de Superfícies Refletivas nas Perdas de Calor de Sistemas Térmicos**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Tecnologia. Natal, 2011.

ÇENGEL, YUNUS A; GHAJAR, A. **Transferência de Calor e Massa**. 4ª ed. Porto Alegre: Mc Graw Hillm, 2012.

CIBC. **Desempenho de Edificações Habitacionais- Guia Orientativo para Atendimento à Norma NBR 15575/2013**. 2ª ed. Brasília, 2013).

COUTINHO, S. M.; TRISTÃO, A. F.; PRETTI, S. M. **Argamassa Preparada em Obra x Argamassa Industrializada para Assentamento de Blocos de Vedação: Análise do uso em Vitória-ES**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2013.

FLORES, P. **Análise Multitemporal dp Avanço da Fronteira Agrícola no Município de Barreiras- Bahia (1988 - 2008)**. Universidade de Brasília, 2011.

GASPARINI, R. **Modelagem da Transfência de Calor Combinada por Condução e Radiação em Isolantes Térmicos de Edificações**. Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2005.

HALLIDAY; RESNICK. **Fudamentos de Física, volume 2**. gravitação, ondas e termodinâmica. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

INCROPERA, F.; DEWITT, D. et.al. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

LAMBERTS, R.; & DUARTE, V. C. P. **Desempenho Térmico de Edificações**. 7ª ed. Universidade Federal de Santa Caratina. Florianópolis, 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; ORDENES, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 1ª ed. Rio de Janeiro, 1997.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiencia Energética na Arquitetura**. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2014.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A. L.; CARLO, J. C. **Desempenho Térmico de Edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

LOUREIRO, K. C. **Análise de Desempenho Térmico e Consumo de Energia de Residências na Cidade de Manaus**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

MARINOSKI, D. L. **ALVENARIAS : Conceitos , Alvenaria de Vedação , Processo Executivo**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

MENDONÇA,P. **Propriedades dos Materiais e Sistema de Fachada**. Universidade do Minho. Portugal, 2005.

MORAN, M.; SHAPIRO, H. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 6ªed, 2007.

MOREIRA, J. **Introdução à Transferência de Calor Convectiva**. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

NETO, C. **Área Técnica de Refrigeração e Condicionamento de Ar. Transferência de Calor ( TCL )**. Volume I – Parte 2 (Vol. I). Universidade Federal de Santa Catarina. São José, 2010.

OLIVEIRA, D. R. **Estudo Comparativo de Alternativas para Vedações Internas de Edificações**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

ORDENES, M.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. **Transferência de Calor na Envolvente da Edificação**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

ORGAZ, M.; TEIXEIRA, M.; AMORIM, V. **Instrumentação e Métodos de Observação. Curso de Física da Atmosfera. Departamento de Física**. Universidade de Aveiro, 1995.

PEREIRA, F. D. **Influência das Variações de Temperatura no Desempenho de Fachadas de Alvenaria**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal, 2008.

PINTO, M. **Análise de Desempenho Térmico e Consumo de Energia Estudo de Caso em Hotelaria**. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2008.

RICHTER, C. **Alvenaria Estrutural Processo Construtivo Racionalizado**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2007.

ROCHA, A. M. **Avaliação das Condições de Conforto Térmico ao Calor em Edificações Habitacionais Multipavimentadas na Cidade de IJUÍ – RS**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2004.

RUPP, R. F. **Análise da Transferência de Calor em Paredes Compostas por Tijolos Maciços**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2009.

RUSSI, M.; VETTORAZZI, E.; PIZZUTTI, J. C.; ZÓFOLI, R.; SOARES, R. **Estratégias Construtivas na Busca de Conforto Térmico e Eficiência Energética em Edificações Unifamiliares de Interesse Social nas Zonas Bioclimáticas 1,2 e 3 Brasileiras**. Universidade Federal de Santa Maria. Passo Fundo, 2012.

SANTOS, A. **Climas no Mundo e no Brasil**. Dept. de Geografia/Climatologia. Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

SANTOS, A. R. **Estudo da Técnica de Assentamento da Alvenaria de Vedação em Blocos**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2012.

SARAIVA, A. G.; BAUER, E.; BEZERRA L. M. **Análise das Tensões entre Argamassa Colante e Placas Cerâmicas Submetidas a Esforços de Natureza Térmica**. ANTAC. Porto Alegre, 2002.

SILVA, F. M.; CHAVES, M.; LIMA, Z. M. **Geografia Física II**. 2ª ed. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2011.

SILVA, L. M. **Melhoria do Comportamento Térmico de Elementos para Alvenaria da Envoltente**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal, 2008.

SILVA, M. A. V. **Meteorologia e Climatologia**. 2ª ed. Recife, 2006.

SIQUEIRA, T.; AKUTSU, M.; LOPES, J.; SOUZA, H. **Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações**. Revista Escola de Minas, vol. 58, nº2. Ouro Preto, 2005.

SOARES, R. G.; SANTOS, S. X. **Desempenho Térmico das Edificações : Estudo Comparativo entre o Telhado Verde e Outros Tipos de Coberturas.** *Petra*, v.2, n.1, p. 36-55, 2016.

TANAKA, D. **Avaliação da Termografia Infravermelha no Estudo de Destacamento Ceâmico: Análise da Influência do Tamanho do Defeito e da Orientação Solar.** Universidade Federal do Oeste da Bahia. Barreiras, 2016.

THOMAZ, E.; FILHO, C.; CLETO, F.; CARDOSO, F. **Alvenaria de Vedação em Blocos cerâmicos.** São Paulo, 2009.

TUBELO, R. **Análise do Desempenho Térmico de Edificações Escolares: Estudo de Caso do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí e da Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

VASQUES, C.; PIZZO, L. **Comparativo de Sistemas Construtivos, Convencional e Wood Frame em Residências Unifamiliares.** Engenharia de Estruturas do Centro Universitário de Lins. São Paulo, 2014.

YONG, H.; FREEDMAN, R. **Física II: Termodinâmica e Ondas.** 12ªed. P. Weslwy, Ed, 2008.

ZULIAN, C. S.; DONÁ, E.; VARGAS, C. **Revestimentos.** Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2002.

## Anexo A

Variação das temperaturas em função do tempo para orientação Norte (sem revestimento cerâmico).

HORÁRIOS (Horas)	Temperaturas ° C - direção norte			
	Tamb.ext	Tsup.ext	Tsup.int	Tamb.int
08:00	23,3	24,3	19,8	25,6
09:00	27,1	27,6	22,6	27,2
10:00	36,4	32,1	28,1	28,0
11:00	36,9	37,8	32,2	36,4
12:00	39,7	38,3	35,8	37,1
13:00	41,9	45,1	37,4	35,5
14:00	42,3	44,9	41,9	36,1
15:00	41,4	43,5	44,7	38,5
16:00	41,0	45,7	44,5	38,6
17:00	39,6	44,6	43,3	38,1
18:00	32,2	39,2	41,1	37,2

Variação das temperaturas em função do tempo para orientação Sul (sem revestimento cerâmico).

HORÁRIOS (Horas)	Temperaturas ° C - direção sul			
	Tamb.ext	Tsup.ext	Tsup.int	Tamb.int
08:00	27,6	25,2	26,7	25,4
09:00	32,8	26,5	26,1	26,5
10:00	34,1	28,1	31,6	32,6
11:00	35,6	29,6	32,4	32,8
12:00	37,4	34,1	32,6	36,2
13:00	38,7	35,3	32,8	37,4
14:00	42,0	38,6	35,0	40,7
15:00	40,1	36,2	40,3	39,6
16:00	33,4	35,6	37,1	38,1
17:00	31,3	32,1	36,1	34,0
18:00	30,8	31,7	35,0	33,0

Variação das temperaturas em função do tempo para orientação Norte (com revestimento cerâmico).

HORÁRIOS (Horas)	Temperaturas ° C - direção norte			
	T <sub>amb.ext</sub>	T <sub>sup.ext</sub>	T <sub>sup.int</sub>	T <sub>amb.int</sub>
08:00	27,7	27,2	25,4	27,7
09:00	28,5	27,8	27,4	30,3
10:00	32,1	27,9	25,5	31,7
11:00	34,8	33,4	30,3	31,9
12:00	36,0	36,1	29,5	31,9
13:00	37,3	41,5	36,7	37,9
14:00	38,5	44,0	34,8	34,7
15:00	34,6	38,8	31,0	30,4
16:00	33,3	43,0	31,3	30,5
17:00	33,1	39,7	34,3	34,8
18:00	32,6	37,6	36,1	35,5

Variação das temperaturas em função do tempo para orientação Sul (com revestimento cerâmico).

HORÁRIOS (Horas)	Temperaturas ° C - direção sul			
	T <sub>amb.ext</sub>	T <sub>sup.ext</sub>	T <sub>sup.int</sub>	T <sub>amb.int</sub>
08:00	23,8	15,4	18,0	17,8
09:00	27,6	17,0	18,2	21,4
10:00	30,1	21,0	22,7	23,8
11:00	34,7	27,7	28,0	30,6
12:00	34,9	30,8	32,8	34,4
13:00	38,3	35,4	37,4	38,6
14:00	37,1	36,0	38,0	38,5
15:00	35,9	33,2	35,9	37,5
16:00	35,5	37,3	39,9	40,2
17:00	33,1	36,4	37,9	37,7
18:00	32,8	35,7	36,0	35,0