



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

IGO SILVA DA CRUZ

**ESTUDO DE CASO SOBRE CONFORTO TÉRMICO E TRANSFERÊNCIA DE
CALOR NA EDIFICAÇÃO DO BLOCO ADMINISTRATIVO DA UFERSA EM PAU
DOS FERROS-RN**

PAU DOS FERROS – RN

2021

IGO SILVA DA CRUZ

**ESTUDO DE CASO SOBRE CONFORTO TÉRMICO E TRANSFERÊNCIA DE
CALOR NA EDIFICAÇÃO DO BLOCO ADMINISTRATIVO DA UFERSA EM PAU
DOS FERROS-RN**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Centro Multidisciplinar de Pau dos
Feros – CMPF, como requisito para a obtenção
do título de Bacharel Interdisciplinar em
Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Paulo Fonseca de
Melo

Coorientadora: Prof.^a. Dr.^a Rafaely Angélica
Fonseca Bandeira

PAU DOS FERROS – RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C955e Cruz, Igo Silva da.
Estudo de caso sobre conforto térmico e
transferência de calor na edificação do bloco
administrativo da UFERSA em Pau dos Ferros-RN /
Igo Silva da Cruz. - 2021.
72 f. : il.

Orientador: Ricardo Paulo Fonseca de Melo.
Coorientadora: Rafaely Angélica Fonseca
Bandeira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2021.

1. Limites de exposição ocupacional. 2. Medidas
corretivas. 3. Desempenho térmico. I. Melo,
Ricardo Paulo Fonseca de, orient. II. Bandeira,
Rafaely Angélica Fonseca, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

IGO SILVA DA CRUZ

**ESTUDO DE CASO SOBRE CONFORTO TÉRMICO E TRANSFERÊNCIA DE
CALOR NA EDIFICAÇÃO DO BLOCO ADMINISTRATIVO DA UFERSA EM
PAU DOS FERROS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Universidade Federal Rural
do Semi-Árido como requisito para
obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 19 / 11 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

RICARDO PAULO
FONSECA
MELO:05408862461

Assinado de forma digital por
RICARDO PAULO FONSECA
MELO:05408862461
Dados: 2021.11.20 11:40:03 -02'00'

Prof. Dr Ricardo Paulo Fonseca Melo (UFERSA)
Presidente

RAFAELY ANGELICA
FONSECA
BANDEIRA:00978306406

Assinado de forma digital por
RAFAELY ANGELICA FONSECA
BANDEIRA:00978306406
Dados: 2021.11.22 15:33:10
-03'00'

Profa. Dra. Rafaely Angélica Fonseca Bandeira (UFERSA)
Membro Examinador Interno

José Flávio
Timóteo Júnior

Assinado de forma digital por
José Flávio Timóteo Júnior
Dados: 2021.11.26 10:41:06
-03'00'

Prof. Dr. José Flávio Timóteo Junior (UFERSA)
Membro Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, graças e grandes iluminações que me foi concedida.

Agradeço aos meus pais, que durante todo o percurso sempre apoiaram e o esforço deles que possibilitou essa conquista.

Agradeço ao meu orientador Dr. Ricardo Paulo Fonseca de Melo e a minha coorientadora Dra. Rafaely Angélica Fonseca Bandeira pelo aprendizado valioso e principalmente por sua grande paciência.

RESUMO

O conforto térmico é de suma importância, pois um ambiente desconfortável termicamente provoca mal-estar e pode comprometer a produtividade e a saúde de seus ocupantes. Por isso, é necessário planejar e projetar uma edificação antes de executar para que apresente os melhores índices de conforto térmico, contudo, se a construção já estiver construída medidas e estratégias que melhorem o conforto e desempenho térmico devem ser adotadas. O presente trabalho consiste em um estudo de caso o qual avaliou-se a transferência de calor sobre uma parede plana composta e o desempenho térmico da edificação do bloco administrativo considerando os fatores de influência do meio externo e comportamento dos ocupantes, a pesquisa teve como principal base nas normas regulamentadoras NBR 15575 (2021), NR 15 anexo nº 3 e NBR 15220-3 a qual tratam respectivamente do desempenho térmico das edificações, atividades e operações insalubres adotando os limites de tolerância para exposição ao calor e de modo mais específico a NBR 15220-3 trata do desempenho térmico das edificações por meio do zoneamento bioclimático brasileiro. Neste estudo foram analisadas a avaliação do desempenho térmico de paredes por meio do cálculo da transmitância térmica e capacitância térmicas já os limites de exposição ocupacional foram determinados através do medidor de estresse térmico portátil, que mede o calor influenciado pela umidade do ar, a temperatura do ambiente onde está inserido e o calor radiante existente no ambiente de trabalho. A coleta de dados para o cálculo da taxa de transferência de calor foi determinada através do método de termografia digital usando câmera térmica, se os valores encontrados não estiverem dentro dos estabelecidos pelas normas regulamentadoras faz-se necessário o uso de métodos construtivo ou corretivos que propunham elementos para amenizar os efeitos térmicos, como a utilização de isolantes térmicos nas paredes podendo também providenciar em seu entorno a criação de áreas verdes ou espelho de água. Sendo assim, é fundamental adotar medidas e estratégias que proporcionem uma melhor condição de conforto térmico, pois tem-se impacto direto sobre a produtividade do trabalhador, assim, um ambiente com condições de temperaturas amenas melhora o desempenho intelectual do trabalhador, estimulando sua concentração e aprendizado.

Palavras-chave: Limites de exposição ocupacional. Medidas corretivas. Desempenho térmico.

ABSTRACT

Therefore, it is necessary to plan and design a building before executing so that it presents the best thermal comfort indices, however, if the construction is already built and implemented, that improve comfort and thermal performance should be adopted. The present work consists of a case study which evaluated the heat transfer over a flat composite wall and the thermal performance of the administrative block building considering the factors influencing the external environment and the behavior of the occupants. based on regulatory standards NBR 15575 (2021), NR 15 Annex No. 3 and NBR 15220-3, which deal respectively with the thermal performance of unhealthy buildings, activities and operations, adopting the tolerance limits for exposure to heat and more specifically the NBR 15220 -3 deals with the thermal performance of buildings through Brazilian bioclimatic zoning. In this study, the evaluation of the thermal performance of walls was analyzed by calculating the thermal transmittance and thermal capacitance, as the occupational exposure limits were determined using the portable thermal stress meter, which measures the heat influenced by the humidity of the air, the temperature of the environment where it is inserted and the radiant heat existing in the work environment. Data collection to calculate the heat transfer rate through the determination through the method of digital thermography using thermal, if the values found are not included within the regulatory standards, it is necessary to use constructive or corrective methods that proposed elements for soften the thermal effects, such as the use of thermal insulators on the walls, and can also provide for the creation of green areas or water mirrors in their surroundings. Therefore, it is essential to adopt the media and the strategy that provide a better condition of thermal comfort, as it has a direct impact on the worker's productivity, thus, an environment with mild temperature conditions improves the worker's intellectual performance, stimulating your concentration and learning.

Keywords: Thermal comfort. Heat transfer. Thermal performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Condição de contorno para temperatura na superfície constante.....	21
Figura 2: Condição de contorno para superfície constante com fluxo térmico diferente de zero	22
Figura 3: Condição de contorno para superfície constante com superfície adiabática ou isolada termicamente	22
Figura 4 - Condição de convecção na superfície.....	22
Figura 5: Transferência de calor através de uma parede plana. a) distribuição de temperaturas.	24
Figura 6: Seções de um componente com camadas homogêneas e não homogêneas	26
Figura 7: Distribuição de temperaturas e circuito térmico equivalente para uma parede	28
Figura 8: Zoneamento bioclimático brasileiro.....	36
Figura 9: Zona bioclimática 7	36
Figura 10: Carta Bioclimática adaptada	38
Figura 11: Fluxograma apresentando o método de pesquisa.....	42
Figura 12: Prédio administrativo da UFERSA Campos Pau dos Ferros	43
Figura 13: Áreas internas e externas do Bloco Administrativo	44
Figura 14: Áreas internas e externas do Centro de Convivências	44
Figura 15: Copa: Ambiente interno e externo.	46
Figura 16: Auditório: Ambiente interno e externo.	46
Figura 17: Câmera térmica FLIR E6-XT	47
Figura 18: Medidor de estresse térmico digital portátil modelo TGD 200	49
Figura 19: Circuito térmico equivalente para uma parede composta em série.....	52
Figura 20: Termograma e foto da parede interna Copa as 15 horas.....	54
Figura 21: Termograma e foto da parede externa Copa as 15 horas	54
Figura 22: Termograma e foto da parede interna auditório do Administrativo as 13 horas.....	54
Figura 23: Termograma e foto da parede externa auditório do Administrativo as 13 horas	55
Figura 24: Parede de tijolos cerâmicos de seis furos rebocados em ambas as faces.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Condutividade térmica (k) de materiais.....	20
Tabela 2: Resistência térmica superficial interna e externa.	27
Tabela 3: Limite de exposição ocupacional ao calor para trabalhadores aclimatizados	32
Tabela 4: Taxa metabólica por tipo de atividade.....	33
Tabela 5: Relação das cidades cuja zona bioclimática do tipo 7.....	37
Tabela 6 - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico.....	39
Tabela 7: Data das condições ambientais de execução	44
Tabela 8: Emissividades (ϵ) para radiações a temperaturas	50
Tabela 9: Medidas das temperaturas internas e externas das paredes do auditório e da copa..	51
Tabela 10: A taxa de transferência de calor para as variações de temperatura interna e externas.	53
Tabela 11: Análise do material.....	56
Tabela 12: Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura	57
Tabela 13: Valores máximos para a transmitância térmica de paredes externas.....	60
Tabela 14: Valores mínimos admitidos para a capacidade térmica de paredes externas	60
Tabela 15: Dados coletados com medidor de estresse térmico TGD 200, IBUTG calculado para os pontos externos do bloco administrativo.	61
Tabela 16: IBUTG calculado para os pontos internos do bloco administrativo.....	62
Tabela 17: IBUTG bloco administrativo	63
Tabela 18: Dados coletados com medidos de estresse térmico TGD 200, IBUTG calculado para os pontos externos do Centro de convivência.	63
Tabela 19: IBUTG calculado para os pontos internos do centro de convivência.....	64
Tabela 20: IBUTG Centro de convivência	64

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3.	REVISÃO TÉORICA	15
3.1	TRANSFERÊNCIAS DE CALOR.....	15
3.1.1	Calor	16
3.1.2	Condução.....	16
3.1.3	Convecção	17
3.1.4	Radiação	18
3.2	CONDUTIVIDADE TÉRMICA	19
3.3	CONDIÇÕES DE CONTORNO INICIAL	21
3.3.1	Condição Unidirecional em Regime Estacionário	23
3.3.2	A Parede Plana	23
3.3.3	Resistência Térmica	25
3.3.4	Parede Composta em Série.....	27
3.4	CONFORTO TÉRMICO.....	29
3.4.1	Determinação de Índice de conforto térmico	30
3.5	DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES.....	34
3.6	ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO	35
3.7	ESTRATEGIAS DE CONDICIONAMENTO TÉRMICO PASSIVO	37
4.	METODOLOGIA	41
4.1	MÉTODO DE PESQUISA.....	41
4.2	APRESENTAÇÃO DO OBJETO EM ESTUDO	42
4.3	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO DE CAMPO	43
4.4	ALVO TERMOGRÁFICO E DO IBUTG.....	44
4.5	DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS.....	46
4.6	COLETA DE DADOS – MEDIÇÃO	49
4.6.1	Medição com equipamento fixo	49
4.6.2	Medições com equipamento móvel.....	50

5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1	AVALIANDO A TRANSFERÊNCIA DE CALOR UNIDIRECIONAL EM UMA PAREDE COMPOSTA.	51
5.2	AVALIAÇÃO DE LIMITE DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL	61
6.	CONCLUSÃO	66
	REFERÊNCIAS.....	67

1. INTRODUÇÃO

O conforto térmico nos ambientes internos de uma edificação é de suma importância, pois, desencadeia melhores condições para o indivíduo ali presente e proporciona melhor desempenho estrutural, sendo importante conhecer os meios de transferências de calor como condução, convecção e radiação e analisar as suas influências no conforto térmico. A NBR 15575 (ABNT, 2021) estabelece requisitos mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os sistemas que compõem as edificações. Alguns destes requisitos são: durabilidade, desempenho térmico, acústico e luminoso.

Durante o planejamento e a execução de uma estrutura deve-se adaptar o projeto para o clima do local, gerando assim um melhor desempenho térmico com condições de conforto térmico mais agradáveis. A NBR 15220 (ABNT, 2005) define conforto térmico como sendo a satisfação de um usuário no âmbito psíquico e fisiológico com as condições de um determinado ambiente.

A temperatura interna do corpo humano varia cerca de 35 a 37 °C e a todo momento existem trocas térmicas entre o corpo humano e o meio para garantir que a temperatura interna do organismo permaneça constante. Grandes oscilações na temperatura do corpo podem causar mal-estar, afetar a produtividade e até a saúde dos usuários. Assim, para que uma pessoa se sinta em estado de conforto térmico, a temperatura interna do organismo deve permanecer em equilíbrio sem haver um grande gasto energético (LAMBERTS; XAVIER; VECCHI, 2011).

Visando alcançar o conforto térmico, equipamentos de resfriamento e aquecimento são responsáveis por grande parte do gasto de energia de uma edificação. Sendo assim, em ambiente termicamente confortável e adequado com as condições do meio ambiente, teremos uma diminuição de custos financeiros com energia. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A NBR 15575 (ABNT, 2021) estabelece três procedimentos para a avaliação do desempenho térmico das edificações: simplificado, simulação e medição. No método simplificado, verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios para fachadas e coberturas, estabelecidos na NBR 15575-4 (ABNT, 2021); e na NBR 15575-5 (ABNT, 2021c), para os sistemas de vedação e para os sistemas de cobertura. Caso a edificação não atinja os requisitos estabelecidos por este método, avalia-se pelo método de simulação ou medição. No método de simulação, verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na Parte 1 desta norma, através de simulação computacional do desempenho térmico da edificação. No método de medição, ocorre a verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos também na Parte 1 da norma, sendo realização de medições em estruturas e edificações já construídas.

A proposta do presente trabalho é avaliar o processo de condução de calor nas paredes do prédio e as condições de desempenho térmico da edificação através de aferições da temperatura usando câmara térmica e um medidor de estresse térmico, então verificar se estas atendem os requisitos estabelecidos pela norma de desempenho de edificações e se o ambiente apresenta condições termicamente aceitáveis, de modo a proporcionar melhores situações de conforto térmico para o indivíduo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este projeto tem como objetivo geral verificar o desempenho térmico do prédio Administrativo da UFERSA de Pau dos Ferros por meio da NBR 15575 (ABNT, 2021) e avaliar o processo de condução de calor nas paredes do prédio.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar os modos de transferências de calor sobre uma parede composta apresentando formas que proporcione uma melhor condição de conforto térmico
- Analisar as condições de desempenho térmico da edificação através de aferições de temperaturas
- Verificar se estas atendem aos requisitos estabelecidos pela norma de desempenho de edificações.

3. REVISÃO TEÓRICA

3.1 TRANSFERÊNCIAS DE CALOR

É fundamental entender o que é uma transferência de calor, segundo a definição “Transferências de calor (ou calor) é energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperatura no espaço, sempre que existe uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios, haverá necessariamente transferências de calor” (FRANK P., 2008, p.02)

É necessário os conceitos de calor e temperatura sejam bem compreendidos, pois Marques e Araújo (2009) relatam que no dia a dia, quando alguém diz que está com frio, na verdade, eles se referem à sensação térmica. Neste caso, o que acontece, é que na temperatura normal do corpo humano, comumente há transferência de calor deste para o ambiente, pois o que acarreta esta transferência é a diferença de temperaturas.

Neste caso, a fim de compreender como o calor é transferido, Young e Freedman (2008, p. 199) destacam que “os três mecanismos de transferência de calor são a condução, a convecção e a radiação”.

A condução ocorre no interior de um corpo ou entre dois corpos em contato. A convecção depende do movimento da massa de uma região para outra. A radiação é a transferência de calor que ocorre pela radiação eletromagnética, tal como a luz solar, sem que seja necessária a presença de matéria no espaço entre os corpos (YOUNG e FREEDMAN, 2008, p. 199).

Segundo Hewitt (2002): A Condução é um processo de transferência de energia térmica proveniente do choque de partículas, a convecção é a transferência de energia térmica de um fluido provocado por corrente no interior de um fluido aquecido, já a radiação é a transferência de energia através de ondas eletromagnéticas.

O único modo de transferência de calor que pode ocorrer no vácuo é a radiação. Sobre tal fenômeno, Hewitt (2011) relata: A energia vinda do Sol atravessa o espaço, em seguida atravessa a atmosfera terrestre para, então, aquecer a superfície da Terra, essa energia não sofre processo de condução e nem convecção, pois não se tem um meio material para ocorrer. Assim, vemos que a energia deve ser transmitida por irradiação porque se tratar de corpos separados no espaço e existir vácuo entre eles.

Silva et al. (2014), afirmam que os modos de transferência de calor estão presentes em nossa vida diária. Ao decorrer do dia, estamos expostos às diferentes formas de transferência

de calor que muitas vezes, nem percebemos. Ao optar por um horário adequado para a realização de uma atividade Física ao ar livre, ao colocar os alimentos no freezer, ao estacionar embaixo de uma árvore são exemplos da importância desse fenômeno em nosso cotidiano.

3.1.1 Calor

Segundo Levi (2004, p.133 *apud* BELISIO, 2017, P. 74), o calor pode ser definido como “a energia é transferida em função de uma diferença de temperatura”. Portanto, compreende-se que o calor nada mais é do que uma forma de energia.

A energia pode ser estudada na termodinâmica por meio das alterações de propriedades que podem ser dependentes ou independentes em um sistema no estado de equilíbrio e também pode ser estudada por meio dos processos da transmissão da energia em forma de calor.

A Primeira Lei da Termodinâmica, diz que a energia na forma de calor ou trabalho não é criada e sim transformada. Considerando um sistema fechado pode-se aplicar esse princípio a um volume de controle. Os termos da Equação 1 indicam somente o somatório das taxas de variação de calor e de trabalho dentro de um volume de controle.

$$\sum_i \frac{dQ_i}{dt} - \sum_j \frac{dW_j}{dt} = \Delta E \quad (1)$$

Na equação 4, tem-se:

W= Energia na forma de trabalho

Q = Energia na forma de calor

ΔE = Variação de energia de um sistema

3.1.2 Condução

No processo de condução o calor ocorre de uma região de temperatura mais alta para outra de temperatura mais baixa, dentro de um meio, o qual pode ser sólido, líquido, gasoso ou entre meios diferentes que apresentando contato físico direto (KREITH, F. e BORHN, 2017).

A Segunda Lei da termodinâmica, diz que a transmissão de calor acontece de uma região de temperatura mais alta para outra de temperatura mais baixa, logo, a condução pode ser determinada como a transferência de energia entre as partículas mais energéticas para as menos energéticas devido às interações através das partículas (FRANK P., 2008).

Segundo definição do cientista francês J.B.J Fourier, em 1882, para a condutibilidade térmica a equação da taxa, conhecida como lei de Fourier, é dada pela Equação 2. (BERGMAN, 2017)

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

Na formulação acima, o fluxo térmico q_x'' (W/m^2) é a taxa de transferência de calor na direção x por unidade de área perpendicular a direção da transferência de calor que proporciona o gradiente de temperatura $\frac{dT}{dx}$ e k representa a condutividade térmica do material ($W/m \cdot K$).

Aplicando a fórmula apresentada em 2 para uma parede plana em regime permanente pode-se chegar ao seguinte resultado, na Equação 4. (BERGMAN, 2017)

$$q_x = Ak \frac{dT}{L} \quad (3)$$

$$q_x = Aq_x'' \quad (4)$$

Sendo assim, q_x (W) é a taxa de transferência de calor por condução.

3.1.3 Convecção

O processo de convecção é definido pela transferência de calor causada através deslocamento de uma massa do fluido. Em um fluido em movimento tem-se uma distribuição não uniforme de temperatura fazendo com que o calor seja transferido pelo transporte de massa fluida e por condução devido aos gradientes de temperatura (LEVI, 2004).

Segundo Quides (2005), a convecção pode ser determinada como o processo pelo qual energia é transferida das porções quentes para as porções frias de um fluido, por meio da ação combinada de: condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura.

Portanto, o processo de convecção pode ser dar de duas formas, forçada ou natural:

- A convecção forçada se dá quando o movimento de misturas foi induzido por um agente externo
- A convecção é natural quando as partículas que estão próximas à superfície continuam recebendo calor por condução e armazenando a energia, assim as partículas têm sua temperatura elevada por isso, tem uma diminuição da densidade. Já que são mais leves

elas sobem trocando calor com as partículas mais frias, durante o processo de troca de calor as partículas ficam mais pesadas e descem.

A Equação 5, representa a taxa de transferência por convecção pode ser chamada lei do resfriamento Newtoniano (BERGMAN, 2017).

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (5)$$

Onde o fluxo de calor por convecção, q'' (W/m^2) é proporcional à diferença de temperaturas da superfície e do fluido T_s e T_∞ respectivamente. O parâmetro h ($W/m^2 \cdot K$) é chamado coeficiente de transferência de calor por convecção.

Entretanto, esse fluxo de calor poder ser positivo se o calor transferido partir da superfície ($T_s > T_\infty$) gerando um resfriamento da superfície e aquecimento do fluido ou negativo, pois o calor é transferido para a superfície ($T_\infty > T_s$) acarretando aquecimento da superfície e resfriamento do fluido. (BERGMAN, 2017)

3.1.4 Radiação

A transferência de calor por radiação é o transporte de energia por radiação térmica. Uma característica muito importante é que não precisa haver contato entre os corpos para que a energia na forma de calor seja transferida entre eles, enquanto na transferência de energia por condução ou convecção necessita da presença de um meio material para ocorrer. (Levi, 2004).

Segundo FRANK P (2012) considera-se emissividade como sendo a capacidade de emissão de energia por radiação da superfície. A emissão pode apresentar-se em superfície de sólidos na fase líquida e gasosa, no entanto, as ondas eletromagnéticas se propagam mais facilmente no vácuo.

O limite de poder Emissivo é determinado na Equação 6 denominada Lei de Stefan-Boltzmann.

$$E = \sigma T_s^4 \quad (6)$$

Na Equação 6, tem-se:

E é a emissão de um radiador ideal ou corpo negro;

σ é a constante de Stefan-Boltzman $5,67 \cdot 10^{-8}$ ($W/m^2 \cdot K^4$);

T_s é a temperatura absoluta da superfície em (K);

É designado como irradiação, as radiações incidentes sobre uma área, e esta pode ser absorvida pela superfície de modo parcial ou total, aumentando dessa forma a energia térmica do material. A taxa de energia radiante absorvida por unidade de áreas da superfície pode ser calculada tendo a propriedade radiante da superfície denominada por absortividade α , segue a Equação 7 (FRANK P., 2012).

$$G_{abs} = \alpha G \quad (7)$$

Onde α é a absortividade da superfície ($0 \leq \alpha \leq 1$), G_{abs} é a radiação incidente absorvida em (W/m^2) e G é a irradiação (W/m^2). O fluxo e a taxa de calor por radiação são dados pelas Equações 7 e 8.

$$q_{rad} = h_r A (T_s - T_{viz}) \quad (8)$$

$$q''_{rad} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{viz}^4) \quad (9)$$

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s - T_{viz})(T_s^4 - T_{viz}^4) \quad (10)$$

O termo h_r representa o coeficiente de transferência de calor por radiação é determinado por meio da equação 9 ($W/m^2 \cdot K$).

3.2 CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Segundo Yunus (2012) a condutividade térmica é classificada como uma propriedade de transporte que depende da estrutura física da matéria, atômica e molecular, a qual está relacionada com o estado da matéria. Para usar a lei de Fourier a condutividade térmica do material dever ser conhecida, no entanto, a partir da lei de Fourier, Equação 11 pode-se encontrar a condutividade térmica em relação à condução na direção x, que possui unidade ($W/m \cdot K$). A Tabela 1 apresenta condutividade térmica de alguns materiais.

$$k = \frac{q''_x}{\partial T / \partial x} \quad (11)$$

Tabela 1: Condutividade térmica (k) de materiais

Material	k (W/m·K)
Argamassas	
Argamassa comum	1,15
Argamassa de gesso (ou cal e gesso)	0,7
Argamassa celular	0,4
Cerâmica	
Tijolos e telhas de barro	0,7
	0,9
	1
	1,05
Fibro-cimento	
Placas de fibro-cimento	0,95
	0,65
Concreto (com agregados de pedra)	
Concreto normal	1,75
Concreto cavernoso	1,4
Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (ρ dos inertes ~ 750 kg/m³)	
Com finos	0,52
	0,44
Sem finos	0,35
Gesso	
Projetado ou de densidade massa aparente elevada	0,5
Placa de gesso; gesso cartonado	0,35
Com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)	
Dosagem gesso:agregado = 1:1	0,3
Dosagem gesso:agregado = 1:2	0,25
Granulados	
Brita ou seixo	0,7
Argila expandida	0,16
Areia seca	0,3
Areia (10% de umidade)	0,93
Areia (20% de umidade)	1,33
Areia saturada	1,88
Terra argilosa seca	0,52

Fonte: ABNT 15575 (2003)

3.3 CONDIÇÕES DE CONTORNO INICIAL

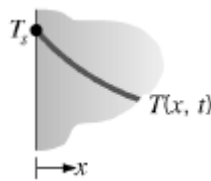
Para se determina a distribuição de temperatura em um meio é necessário conhecer e aplicar algumas condições de contorno. As três condições de contorno mais usadas nas transferências de calor são:

A primeira condição denominada também de primeira espécie caracteriza-se por uma situação onde a superfície é mantida a uma temperatura fixa T_s , podendo também ser chamada de uma condição de Dirichlet. (FRANK P, 2012)

Temperatura na superfície constante

$$T(0, t) = T_s \quad (12)$$

Figura 1: Condição de contorno para temperatura na superfície constante



Fonte: Incropera *et al.* (2014).

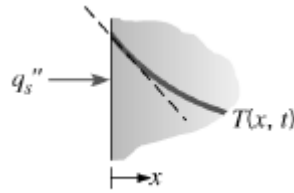
A segunda condição corresponde à existência de um fluxo térmico fixo ou constante q_s'' na superfície. Esse fluxo térmico está relacionado com o gradiente de temperatura na superfície pela lei de Fourier, pode-se ter um fluxo térmico igual a zero se considerar uma superfície perfeitamente isolada ou adiabática.

Fluxo térmico na superfície constante:

(a) Fluxo térmico diferente de zero

$$-k \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = q_s'' \quad (13)$$

Figura 2: Condição de contorno para superfície constante com fluxo térmico diferente de zero

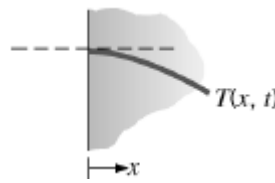


Fonte: Incropera *et al.* (2014).

(b) Superfície adiabática ou isolada termicamente

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \quad (14)$$

Figura 3: Condição de contorno para superfície constante com superfície adiabática ou isolada termicamente



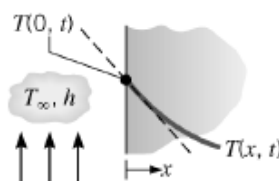
Fonte: Incropera *et al.* (2014)

A condição de contorno de terceira espécie corresponde à existência, na superfície, de um resfriamento ou aquecimento por convecção, obtido através de um balanço de energia na superfície.

Condição de convecção na superfície

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = h[T_{\infty} - T(0, t)] \quad (15)$$

Figura 4 - Condição de convecção na superfície



Fonte: Incropera *et al.* (2014).

3.3.1 Condição Unidirecional em Regime Estacionário

O termo unidirecional refere-se a uma transferência de calor que ocorre em uma única direção, a qual é a mesma direção do gradiente de temperatura. A condição de regime estacionário é caracterizada se a temperatura em cada ponto do sistema for independente do tempo.

3.3.2 A Parede Plana

Na condução de calor unidimensional em uma parede plana, a temperatura é uma função somente da coordenada x e o calor é transferido exclusivamente nessa direção. Na Figura 5 tem-se, uma parede plana que separa dois fluidos, que se encontram a diferentes temperaturas. A transferência de calor ocorre por convecção do fluido quente a $T_{\infty,1}$, para uma superfície da parede a $T_{s,1}$, por condução através da parede e por convecção da outra superfície $T_{s,2}$ para o fluido frio a $T_{\infty,2}$. (INCROPERA e DEWITT, 2014)

A distribuição de temperatura de uma parede plana parte da equação de difusão do calor em coordenadas cartesianas, considerando as condições de contorno.

a) Unidimensional

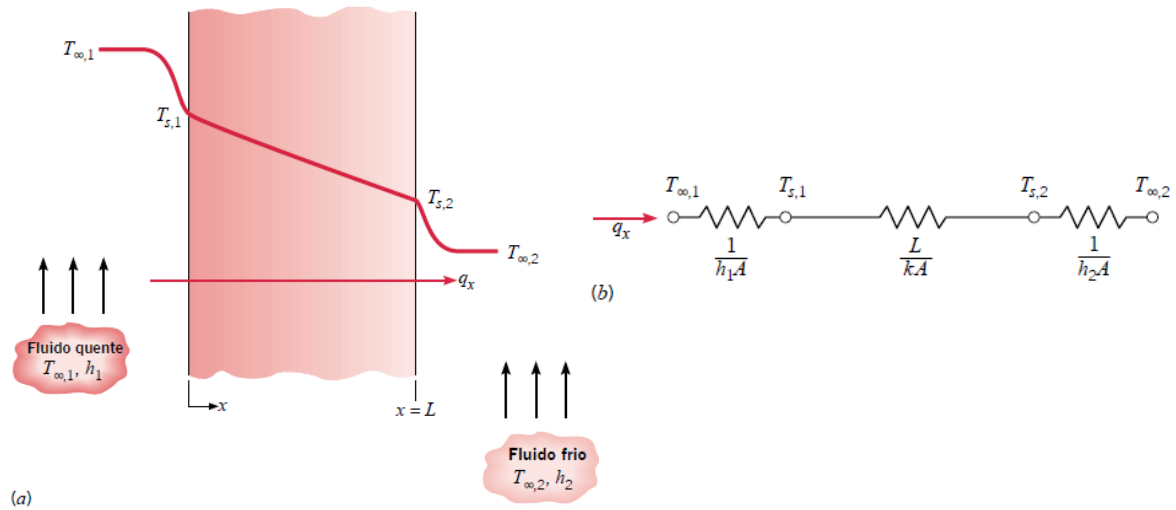
b) Regime estacionário sem geração/absorção de calor:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \dot{q} = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial x} \quad (16)$$

$\therefore$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) = 0 \quad (17)$$

Figura 5: Transferência de calor através de uma parede plana. a) distribuição de temperaturas. b) círculo térmico equivalente.



Fonte: Incropera *et al.* (2014)

Considerando a condutividade térmica do material da parede constante pode-se integrar duas vezes, assim obtemos a solução geral.

$$T(x) = C_1 x + C_2 \quad (18)$$

Para encontrar as constantes de integração C_1 e C_2 , usaremos às duas condições de contorno inicial para $x = 0$ e $x = L$, assim

$$T(0) = C_2 = T_{s1} \quad (19)$$

$$T(L) = C_1 L + C_2 = C_1 L + T_{s1} = T_{s2} \quad (20)$$

$$C_1 = \frac{T_{s2} - T_{s1}}{L} \quad (21)$$

Então,

$$T(x) = (T_{s2} - T_{s1}) \frac{x}{L} + T_{s1} \quad (22)$$

Logo prova-se que a temperatura varia linearmente na direção x nas condições adotadas.

A taxa de transferência de calor por condução é encontrada na equação 23, aplicando a lei de Fourier:

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} = -\frac{kA}{L} (T_{s2} - T_{s1}) \quad (23)$$

Note que A é a área da parede normal à direção da transferência de calor e nesse caso independe de x. O fluxo térmico é.

$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = \frac{k}{L} (T_{s1} - T_{s2}) \quad (24)$$

As Equações 21 e 22 indicam que as taxas de transferência de calor q_x e fluxo térmico q_x'' são constantes e não dependem de x.

3.3.3 Resistência Térmica

Para o caso de transferência de calor unidirecional, permanente, sem geração de energia interna e com propriedades constantes, pode-se aplicar uma analogia entre as difusões de calor e de carga elétricas.

Para as paredes planas, a resistência térmica R_t são definidas como sendo, resistências térmicas por a condução, por convecção e por radiação, sendo apresentadas respectivamente nas Equações 25, 27 e 28

Resistência térmica para a condução:

$$R_{t,cond} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{kA} \text{ [K/W]} \quad (25)$$

A resistência térmica para a convecção, a partir da Lei de Resfriamento de Newton é:

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (26)$$

Então, a resistência térmica por convecção será;

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA} \text{ [K/W]} \quad (27)$$

Se a superfície estiver separada da grande vizinhança por um gás, a resistência térmica para a radiação é:

$$R_{t,rad} = \frac{T_s - T_{viz}}{q_{rad}} = \frac{1}{h_r A} \quad [\text{K/W}] \quad (28)$$

Segundo a norma de Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica e componentes de edificações, NBR 15575 parte 2 (2003). A resistência térmica total de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pelas equações 29 e 30. Logo a resistência térmica de superfície a superfície (R_t) de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela Equação 29.

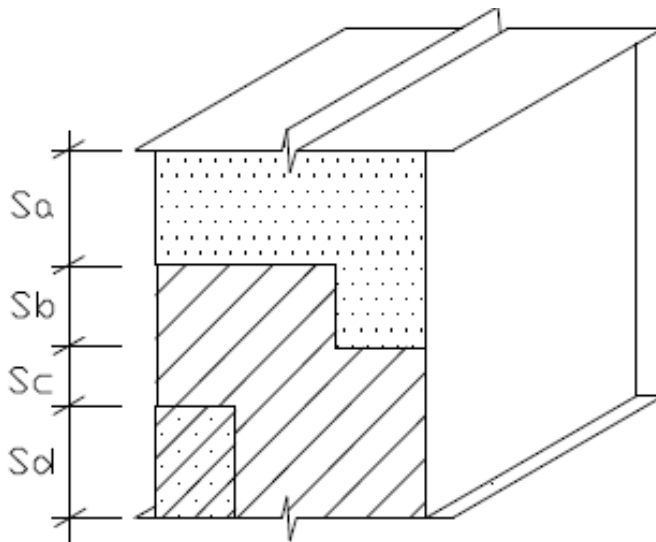
$$R_t = \frac{(A_a + A_b + \dots + A_n)}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (29)$$

Onde:

$R_a, R_b, \dots, R_n$ são as resistências térmicas de superfície a superfície para cada seção (a, b, ..., n).

$A_a, A_b, \dots, A_n$ são as áreas de cada seção.

Figura 6: Seções de um componente com camadas homogêneas e não homogêneas



Fonte: ABNT 15220-2 (2005)

A resistência térmica de ambiente a ambiente é dada pela equação 28.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (30)$$

Onde:

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície;

R_{se} e R_{si} são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas da tabela 2.

A resistência térmica superficial varia de acordo com vários fatores, tais como: emissividade, velocidade do ar sobre a superfície e temperaturas da superfície, do ar e superfícies próximas. A tabela 2 apresenta valores médios recomendados para a resistência interna e externa.

Tabela 2: Resistência térmica superficial interna e externa.

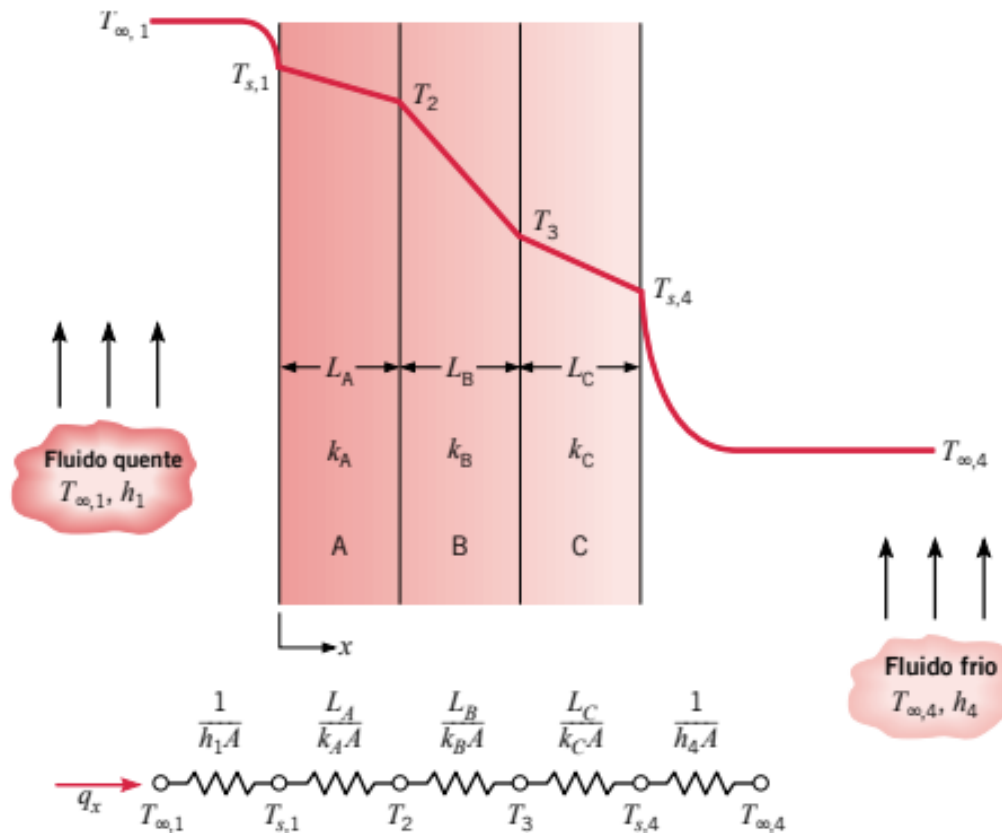
$R_{si} \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$			$R_{se} \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
					
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT 15220-2 (2005)

3.3.4 Parede Composta em Série

É um sistema formado de paredes planas associadas em série, submetidas a uma fonte de calor de temperatura constante e conhecida, de um lado, e do outro lado a um reservatório de calor com temperatura constante e conhecida. Logo, haverá a transferência de um fluxo de calor contínuo no regime permanente através da parede composta.

Figura 7: Distribuição de temperaturas e circuito térmico equivalente para uma parede



Fonte: Incropera *et al.* (2008)

A taxa de transferência de calor pode ser representada pela Equação 31:

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\sum R_t} \quad (31)$$

Na equação 31 tem-se

q_x é a taxa de transferência de calor (W);

$T_{\infty,1}$ é a temperatura do fluido no meio externo da parede (K);

$T_{\infty,4}$ é a temperatura do fluido no meio interno da parede (K);

$\sum R_t$ o somatório das resistências térmicas (K/W);

Sendo $T_{\infty,1} - T_{\infty,4}$ a diferença de temperatura dividido pelo somatório de todas as resistências térmicas, temos

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\left(\frac{1}{h_1 A}\right) + \left(\frac{L_A}{k_A A}\right) + \left(\frac{L_B}{k_B B}\right) + \left(\frac{L_C}{k_C C}\right) + \left(\frac{1}{h_4 A}\right)} \quad (32)$$

O coeficiente global de transferência de calor está relacionado com a resistência térmica total, temos que $UA = 1/R_{tot}$ apresentado na Equação 33.

$$U = \frac{1}{R_{tot} A} = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_1}\right) + \left(\frac{L_A}{k_A}\right) + \left(\frac{L_B}{k_B}\right) + \left(\frac{L_C}{k_C}\right) + \left(\frac{1}{h_4}\right)} \quad (33)$$

De forma geral,

$$R_{tot} = \sum R_t = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{UA} \quad (34)$$

3.4 CONFORTO TÉRMICO

Conforme a ASHRAE Standard 55-92, (*apud* Lamberts e Xavier, 2002; p.03): “Conforto térmico é a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico.”

Segundo o manual internacional da Sociedade Americana de Engenheiros (2007), que trata de definições e normas a respeito da climatização dos ambientes, explica, de modo geral, que o conforto térmico é a capacidade que o ser humano tem de apresentar satisfação com a sensação térmica oferecida por determinados ambientes que o cercam (*apud* VIVIANE, 2021, p. 10).

De acordo com Lamberts (2011), conforto térmico é uma sensação humana fortemente relacionada principalmente com os fatores físicos, fisiológicos e psicológicos dentre os fatores citados, a satisfação térmica é um fator de grande influência no bem-estar de um indivíduo. O estudo de Silva (2014) pontua que a umidade influencia diretamente no desempenho do ser humano, logo a sensação de conforto térmico de um trabalhador vai influenciar diretamente na sua produtividade.

De acordo com Costa (2011), o conforto térmico tem impacto direto sobre a produtividade do trabalhador, assim, a manutenção de um ambiente neutro ou levemente frio melhora o desempenho intelectual do trabalhador, estimulando sua concentração e aprendizado. Os pontos positivos podem ser observados na melhora produtiva quando o ser humano se encontra termicamente confortável, como ressalta Dias (2013), pois um ambiente de trabalho saudável é um pré-requisito para a inovação e produtividade.

3.4.1 Determinação de Índice de conforto térmico

Existentes várias maneiras para calcular o índice de conforto térmico de um ambiente, podendo ser citados, como os mais conhecidos o “Índice de temperatura efetiva” e o “Índice de IBUTG”

- Índice de temperatura efetiva.

Padilha (2010), explica que o índice de temperatura efetiva é definido como a temperatura de um ambiente de ar saturado e de velocidade nula que provoca, no ser humano, a mesma sensação térmica resultante da combinação entre temperatura, umidade e velocidade relativa do ar.

O autor ainda retrata que o método é ineficiente, pois não define um intervalo de temperatura que proporcionará um conforto a um número considerável de pessoas. Ressalta-se também que as experiências das quais resultaram as cartas de temperatura efetiva não consideraram os efeitos da atividade e da vestimenta dos indivíduos, além de desprezar o efeito da temperatura radiante média.

- Índice de IBUTG.

O Índice de bulbo úmido – termômetro de globo (IBUTG) é utilizada para a avaliação do estresse térmico a que um indivíduo se encontra exposto em situações ambientais extremas de frio e calor (NHO 06, 2017)

Segundo Oliveira e Costa (2014) esse índice foi desenvolvido visando de avaliar uma condição de sobrecarga para um grupo específico de atividades, através índice é possível obter uma forma de calcular um melhor tempo de descanso nessas atividades. Sakoi *et al.* (2018) mostra que o índice IBUTG foi proposto em 1957 por Yaglou e Minard com o intuito de evitar que sofram de algum mal relacionado a carga térmica recebida no centro de treinamento militar. Pela simplicidade analítica do índice ele torna-se um ótimo indicador para aplicação em qualquer local de trabalho. São necessários um conjunto de instrumentos para determina o índice de bulbo úmido, que são: termômetro de globo, termômetro de bulbo úmido e termômetro de bulbo seco.

Segundo a norma NR-15 anexo 3 (2019), para ambientes internos ou externos sem carga solar, deve ser utilizada a seguinte relação apresentada nas equações 35 e 36:

Para ambientes internos com carga solar:

$$IBUTG = 0,7t_{bn} + 0,3t_g \quad (35)$$

Para ambientes externos com carga solar:

$$IBUTG = 0,7t_{bn} + 0,1t_{bs} + 0,2t_g \quad (36)$$

Onde:

t_{bn} = temperatura de bulbo úmido natural (°C);

t_g = temperatura de globo (°C);

t_{bs} = temperatura de bulbo seco (°C) (Em ambiente sem carga solar $t_{bs} = t_g$).

A Norma Regulamentadora – NR 15 anexo 3 (2019) caracteriza como insalubres as atividades ou operações realizadas em ambientes fechados, ou ambientes com fonte artificial de calor sempre que o IBUTG (médio) medido ultrapassar os limites de exposição ocupacional estabelecidos com base no Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo apresentados na Tabela 3 ($\overline{IBUTG}_{MAX}$) e determinados a partir da taxa metabólica das atividades, apresentadas na Tabela 4.

Quando o trabalhador estiver exposto a uma única situação térmica, ao longo do período de 60 minutos considerados na avaliação, o $\overline{IBUTG}$ será o próprio IBUTG determinado para essa situação. Caso o trabalhador esteja exposto a duas ou mais situações térmicas diferentes, o $\overline{IBUTG}$ deve ser determinado a partir da equação 37 tem-se, utilizando-se os valores de IBUTG representativos de cada uma das situações térmicas que compõem o ciclo de exposição do trabalhador avaliado. (NHO 06, 2017)

$$\overline{IBUTG} = \frac{IBUTG_1 \cdot t_1 + IBUTG_2 \cdot t_2 + \dots + IBUTG_n \cdot t_n}{60} \quad (37)$$

Sendo:

$\overline{IBUTG}$ = IBUTG médio ponderado no tempo em °C.

$IBUTG_n$ = IBUTG da situação térmica “n” em °C.

t_n = tempo total de exposição na situação térmica “i”, em minutos, no período de 60 minutos corridos mais desfavoráveis.

n = número de situações térmicas identificadas na composição do ciclo de exposição.

$$t_1 + t_2 + \dots + t_n = 60 \text{ minutos.}$$

O Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo Médio - $\overline{IBUTG}$ e a Taxa Metabólica Média, a serem considerados na avaliação da exposição ao calor, devem ser obtidos no período de 60 (sessenta) minutos corridos, e que resultem na condição mais crítica de exposição. (NHO 06, 2017)

Para o cálculo da taxa metabólica média $\bar{M}$, deve-se considerar o mesmo período de 60 minutos corridos considerado para o cálculo do IBUTG. Quando a atividade física exercida pelo trabalhador se tem que a taxa metabólica média dada pela equação 38.

$$\bar{M} = \frac{M_1 \cdot t'_1 + M_2 \cdot t'_2 + \dots + M_m \cdot t'_m}{60} \quad (38)$$

Sendo:

$\bar{M}$ = taxa metabólica média ponderada no tempo em W.

M_m = taxa metabólica da atividade em °C.

t'_m = tempo total de exposição na situação térmica, em minutos, no período de 60 minutos corridos mais desfavoráveis.

m = número de atividades térmicas identificadas na composição do ciclo de exposição.

$$t'_1 + t'_2 + \dots + t'_m = 60 \text{ minutos.}$$

Na Tabela 4 apresenta a taxa metabólica determinada por meio das atividades, calcula-se a taxa metabólica média pela equação 28 e usa a Tabela 3 para encontra o $\overline{IBUTG}_{MÁX}$.

Tabela 3: Limite de exposição ocupacional ao calor para trabalhadores aclimatizados

$\bar{M}$ (W)	$\overline{IBUTG}_{MÁX}$ (°C)	$\bar{M}$ (W)	$\overline{IBUTG}_{MÁX}$ (°C)	$\bar{M}$ (W)	$\overline{IBUTG}_{MÁX}$ (°C)
100	33,7	186	30,6	346	27,5
102	33,6	189	30,5	353	27,4
104	33,5	193	30,4	360	27,3
106	33,4	197	30,3	367	27,2
108	33,3	201	30,2	374	27,1
110	33,2	205	30,1	382	27
112	33,1	209	30	390	26,9
115	33	214	29,9	398	26,8
117	32,9	218	29,8	406	26,7
119	32,8	222	29,7	414	26,6
122	32,7	227	29,6	422	26,5
124	32,6	231	29,5	431	26,4
127	32,5	236	29,4	440	26,3

129	32,4	241	29,3	448	26,2
132	32,3	246	29,2	458	26,1
135	32,2	251	29,1	467	26
137	32,1	256	29	476	25,9
140	32	261	28,9	486	25,8
143	31,9	266	28,8	496	25,7
146	31,8	272	28,7	506	25,6
149	31,7	277	28,6	516	25,5
152	31,6	283	28,5	526	25,4
155	31,5	289	28,4	537	25,3
158	31,4	294	28,3	548	25,2
161	31,3	300	28,2	559	25,1
165	31,2	306	28,1	570	25
168	31,1	313	28	582	24,9
171	31	319	27,9	594	24,8
175	30,9	325	27,8	606	24,7
178	30,8	332	27,7		
182	30,7	339	27,6		

Fonte: NR 15 Anexo nº 3 (2019)

Tabela 4: Taxa metabólica por tipo de atividade

Atividade	Taxa metabólica (W)
Sentado	
Em repouso	100
Trabalho leve com as mãos	126
Trabalho moderado com as mãos	153
Trabalho pesado com as mãos	171
Trabalho leve com um braço	162
Trabalho moderado com um braço	198
Trabalho pesado com um braço	234
Trabalho leve com dois braços	216
Trabalho moderado com dois braços	252
Trabalho pesado com dois braços	288
Trabalho leve com braços e pernas	324
Trabalho moderado com braços e pernas	441
Trabalho pesado com braços e pernas	603

Em pé, agachado ou ajoelhado	
Em repouso	126
Trabalho leve com as mãos	153
Trabalho moderado com as mãos	180
Trabalho pesado com as mãos	198
Trabalho leve com um braço	189
Trabalho moderado com um braço	225
Trabalho pesado com um braço	261
Trabalho leve com dois braços	243
Trabalho moderado com dois braços	279
Trabalho pesado com dois braços	315
Trabalho leve com o corpo	351
Trabalho moderado com o corpo	468
Trabalho pesado com o corpo	630
Em pé, em movimento	
Andando no plano	
1. Sem carga	
2 km/h	198
3 km/h	252
4 km/h	297
5 km/h	360
2. Com carga	
10 kg, 4 km/h	333
30 kg, 4 km/h	450

Fonte: NR 15 Anexo nº 3 (2019)

3.5 DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

Um ambiente confortável termicamente possibilita um melhor rendimento em atividades intelectuais e físicas, visto que o organismo gasta menos energia para manter a temperatura corporal nos limites toleráveis (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Logo tem-se necessário que uma edificação precisa ser o mais termicamente confortável possível para seus usuários.

Para uma edificação ter um bom desempenho térmico, é necessário corresponder a resposta da habitação em relação ao clima da área em que se encontra e aos parâmetros climáticos internos (GONÇALVES, 2004). Assim, para que um ambiente tenha um

desempenho térmico apropriado proporcionará uma sensação de conforto térmico a seus usuários, porém sempre que possível deve ser energeticamente eficiente.

Portanto, a análise do desempenho de uma edificação é considerada por dois fatores principais: influência do meio externo e comportamento dos ocupantes (NBR 15220-3, 2005).

- Influência do meio externo são: onde o imóvel será construído, sua localização e os valores de temperatura média local, da umidade do ar, da direção e velocidade do vento, e em relação à localização deve-se considerar a topografia do local.
- Comportamento dos ocupantes define-se na forma de como suas atividades estão sendo realizada, considerando o consumo da taxa metabólica de cada atividade.

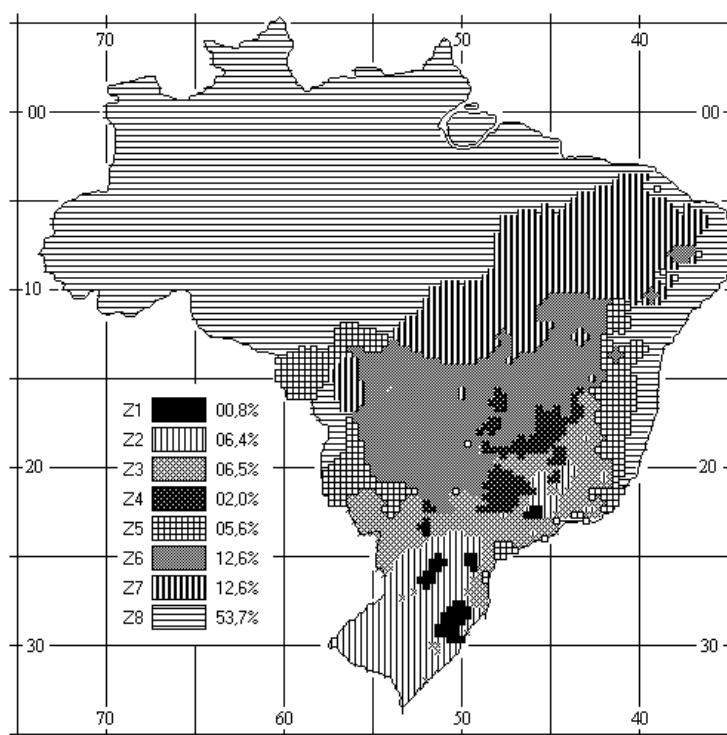
Segundo Bittencourt e Cândido (2010) existem três categorias de estratégia para se resfriar um ambiente: ativas, passivas e híbridas. A estratégia ativa é aquela que demanda energia elétrica para seu funcionamento. O segundo método, a passiva, é aquela que requer pouca ou nenhuma energia para seu funcionamento. Já o sistema híbrido integra parte da estratégia ativa para auxiliar o funcionamento dos métodos passivos. No entanto, como a análise do desempenho térmico desse trabalho tem como se aprofundar na NBR 15575 (2021), NR15 anexo 3 (2019) e NBR 15220-3 (2005) a qual retrata do Zoneamento bioclimático brasileiro, logo não se aplica nessas normas o estudo do condicionamento artificial mais sim, das condições naturais de isolamento e ventilação.

3.6 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO

Segundo a norma de desempenho térmico de edificações NBR 15220-3 (2005): Zoneamento bioclimático brasileiro e suas diretrizes construtivas para a habitação unifamiliares de interesse social essa norma trata da adequação climática de habitações unifamiliares interesse social, com até três pavimentos e estabelece uma forma de divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas, através da análise climática e entendimento das características locais, propondo estratégias de soluções que irão promover maior conforto ambiental e adequação climática.

O zoneamento bioclimático compreende oito diferentes zonas conforme indicado na Figura 8.

Figura 8: Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: ABNT NBR 15220/2005

Conforme o zoneamento bioclimático brasileiro determinado pela NBR 15.220/2005 a cidade de Pau dos Ferros/RN está localizada na zona bioclimáticas 7, como visto na Figura 9.

Figura 9: Zona bioclimática 7



Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005)

Antes de analisar cada zona climática deve-se adotar alguns parâmetros de condições de contorno apresentados na NBR 15220/2005:

- Tamanhos das aberturas para ventilação;
- Proteção das aberturas;
- Vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura);
- Estratégias de condicionamento térmico passivo;

3.7 ESTRATEGIAS DE CONDICIONAMENTO TÉRMICO PASSIVO

Para cada uma dessas zonas climáticas, dias típico de inverno e dias típicos de verão são definidos com base no valor médio da temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente para os dias mais frios, respectivamente, observado em um ano.

A Tabela 5 apresenta a relação das cidades cuja zona bioclimática é do tipo 7. Na primeira coluna (UF) indica a Unidade Federativa a que a cidade pertence, na quarta coluna (Zona) indica a Zona Bioclimática onde a cidade está inserida e a terceira coluna apresenta as estratégias bioclimáticas recomendadas, conforme a com a metodologia utilizada.

Tabela 5: Relação das cidades cuja zona bioclimática do tipo 7

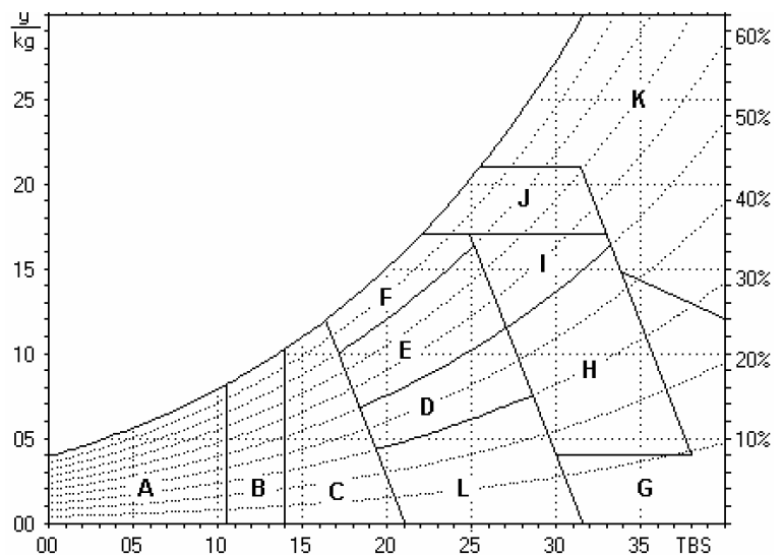
UF	Cidade	Estrat.	Zona
BA	Barreiras	DFHIJ	7
BA	Senhor do Bonfim	FHI	7
CE	Barbalha	DFHIJ	7
CE	Campos Sales	DFHIJ	7
CE	Crateús	DFHIJ	7
CE	Iguatu	DFHIJ	7
CE	Morada Nova	FHIJK	7
CE	Quixadá	FHIJK	7
CE	Quixeramobim	FHIJK	7
CE	Sobral	FHIJK	7
CE	Tauá	DFHIJ	7
GO	Goiás	FHIJ	7
MA	Barra do Corda	FHIJK	7
MA	Carolina	FHIJ	7
MA	Caxias	FHIJK	7
MA	Grajaú	FHIJK	7
MA	Imperatriz	FHIJK	7

MG	Monte Azul	DFHI	7
MT	Cuiabá	FHIJK	7
MT	Diamantino	FHIJK	7
PE	Floresta	FHIK	7
PI	Bom Jesus do Piauí	DFHIJ	7
PI	Floriano	FHIJK	7
PI	Paulistana	DFHIJ	7
PI	Picos	DFHIJ	7
PI	Teresina	FHIJK	7
RN	Cruzeta	FHIJK	7
RN	Florania	FHIJ	7
RN	Mossoró	FHIJK	7
TO	Peixe	FHIJK	7
TO	Porto Nacional	FHIJK	7
TO	Taguatinga	DFHIJ	7

Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005)

Cada Zona Bioclimática precisa de uma estratégia a ser seguida. A Figura 10 apresenta uma carta bioclimáticas e a zona correspondente a estratégia que dever ser seguida.

Figura 10: Carta Bioclimática adaptada



Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005)

As zonas da carta correspondem às seguintes estratégias:

A – Zona de aquecimento artificial (calefação);

B – Zona de aquecimento solar da edificação;

- C – Zona de massa térmica para aquecimento;
 D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade);
 E – Zona de Conforto Térmico;
 F – Zona de desumidificação (renovação do ar);
 G + H – Zona de resfriamento evaporativo;
 H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
 I + J – Zona de ventilação;
 K – Zona de refrigeração artificial;
 L – Zona de umidificação do ar;

A Tabela 6 apresenta o detalhamento das diferentes estratégias de condicionamento térmico passivo.

Tabela 6 - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio, através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades)
E	Caracteriza a zona de conforto térmico
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar

H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deve ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipientes com água e do controle da ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas

Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005)

4. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foi feito um estudo de caso o qual é uma pesquisa experimental, baseado nas normatizações brasileiras a respeito do desempenho térmico das edificações tendo a norma como a base para o desenvolvimento do projeto NBR 15575, NBR 15220 de Zoneamento bioclimático brasileiro, NR 15 Anexo 3 que apresenta os limites de tolerância a exposição de calor.

O estudo será realizado em duas etapas, será inicialmente feito as leituras das normatizações juntamente com artigos, monografias, pesquisas academias e livros usando as ferramentas de pesquisa como o Google Acadêmico (G. A.), a *Scientific Eletronic Library Online* (SciELO) e o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Na segunda etapa, este trabalho será realizado em campo, onde será feita a medição e a coleta de dados acerca do desempenho térmico do Bloco Administrativo da UFERSA em pau dos Ferros por meio da utilização de equipamento como termômetro de Globo e termógrafo.

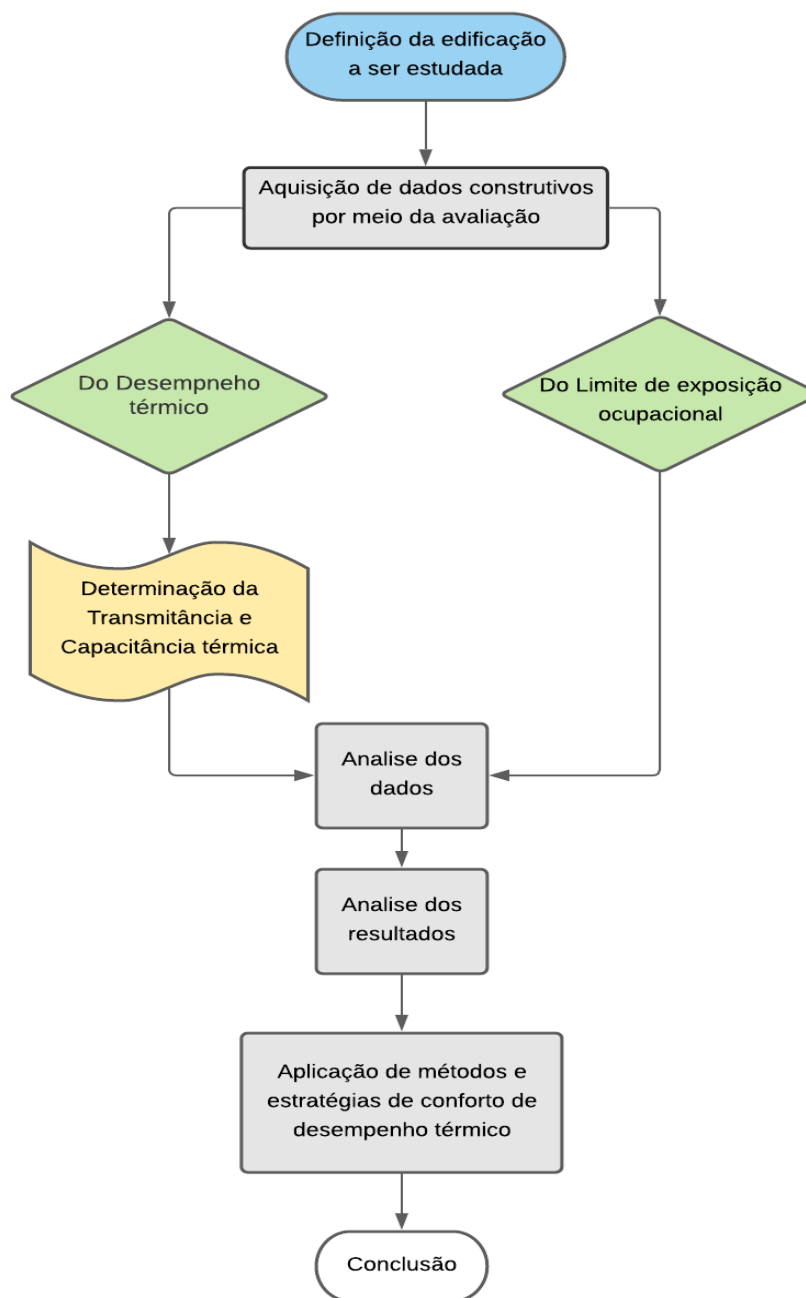
4.1 MÉTODO DE PESQUISA

As etapas da pesquisa foram as seguintes:

- I. Análise bibliográfica sobre os temas relacionados a transferência de calor em uma parede composta e conforto térmico avaliando os limites de exposição ocupacional, a importância do conforto na habitação, o conceito de conforto térmico e de transferência de calor, e seus tópicos relacionados, como o clima e sua influência no homem.
- II. Escolha dos objetos de estudo, ou seja, verificar o desempenho térmico do prédio Administrativo da UFERSA de Pau dos Ferros/RN onde foi possível caracterizar os materiais utilizados no processo de estudo das paredes e das áreas internas e externas analisadas. Para que seja aplicada os critérios da norma de conforto térmico ABNT NBR 15220/2003, NBR 15575/2021 e NR 15 anexo 3 de 2019.
- III. Coleta de dados para análise das paredes e das áreas internas e externas, conforme a Norma de Desempenho Térmico; através da coleta de dados em campo.
- IV. Análise dos resultados obtidos através das análises feitas segundo a norma apresentar medidas construtivas e corretivas que podem ser adotadas para melhoria o conforto e desempenho térmico.

O método de pesquisa é apresentado no fluxograma da Figura 11.

Figura 11: Fluxograma apresentando o método de pesquisa



Fonte: Autor (2021)

4.2 APRESENTAÇÃO DO OBJETO EM ESTUDO

A edificação escolhida para o estudo é o Bloco Administrativo representado na Figura 12 e o centro de convivência da Universidade Federal Rural do Semi-Árido na cidade de Pau dos Ferros no estado do Rio Grande do Norte. A escolha da edificação teve como critério a

grande movimentação de servidores e estudantes o qual estão sempre se deslocando pelo Bloco Administrativo.

Figura 12: Prédio administrativo da UFERSA Campos Pau dos Ferros



Fonte: UFESA-CMPF (2014).



Fonte: Autor (2021)

4.3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO DE CAMPO

O experimento foi dividido em duas etapas:

- I. A primeira etapa consiste na coleta de dados durante os dias 30 de setembro de 2021 e dia 1 de outubro de 2021, com a utilização da câmera térmica (FLIR E6-XT) com início às nove horas e encerrando as coletas às dezesseis horas.
- II. A segunda etapa consiste na análise de dados coletados com o IBUTG durante 5 meses que são agosto, setembro e outubro de 2020 e durante os meses de fevereiro e maio de 2021.

As condições ambientais, da região onde está localizado o alvo são:

Tabela 7: Data das condições ambientais de execução

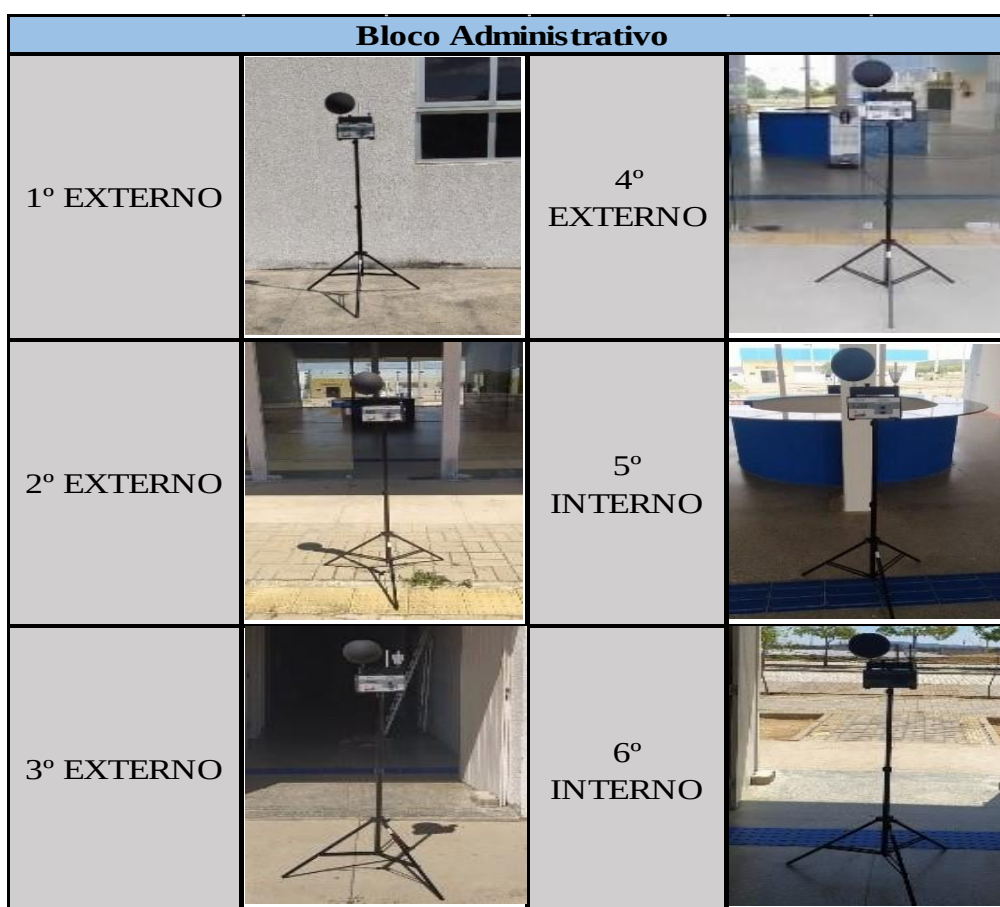
PERÍODO	DIA 30/09/21	DIA 01/10/21
MANHÃ	Céu aberto com nuvens	Céu com algumas nuvens
TARDE	Céu aberto com nuvens	Céu com algumas nuvens

Fonte: Autor (2021)

4.4 ALVO TERMOGRÁFICO E DO IBUTG

Selecionaram-se as áreas internas e externas do bloco administrativo e do Centro de Convivência da UFERSA Pau dos Ferros para as análises termográficas e com o IBUTG, como pode ser visto na Figura 13 e 14.

Figura 13: Áreas internas e externas do Bloco Administrativo



Fonte: Autor (2020 e 2021)

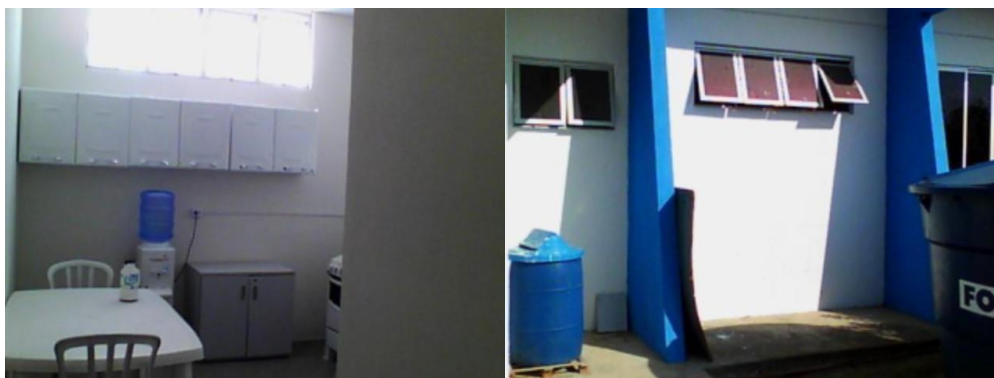
Figura 14: Áreas internas e externas do Centro de Convivências



Fonte: Autor (2020 e2021)

Para as análises de transferência de calor unidirecional sobre uma parede plana foi escolhido a parede da sala da copa por se tratar de um ambiente, pequeno e com pouca circulação de ar e a parede do Auditório do Bloco Administrativo por ter uma grande incidência solar durante todo o dia, a Figura 15 e 16 apresenta as imagens interna e externa para a copa e auditório.

Figura 15: Copa Ambiente interno e externo.



Fonte: Autor (2021)

Figura 16: Auditório Ambiente interno e externo.



Fonte: Autor (2021)

4.5 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

O equipamento termográfico utilizado no ensaio de campo foi a FLIR E6-XT Wifi e o IBUTG, representado na Figura 17.

Especificações da FLIR E6-XT Wifi

Desempenho de obtenção de imagem

Campo de visão (FOV) $45^{\circ} \times 34^{\circ}$

Distância Focal Mínima 0,5 m (1.6 ft.)

Sensibilidade Térmica $<0,06^{\circ}\text{C}$ (0.11°F)/ $<60\text{ mK}$

Faixa Espectral $7,5\text{ a }13\text{ }\mu\text{m}$

Resolução/FOV da Câmera Digital $640 \times 480/55^{\circ} \times 43^{\circ}$

Apresentação de Imagem

Apresentação de Visor LCD colorido de 3,0'' 320 × 240 pixels em imagem IV-Infravermelho. Controle de imagem paletas cores Preto e branco, ferro e arco-íris. Modos de imagem Thermal MSX, Térmico, Picture-in-Picture, Combinação térmica, Câmera digital.

Medições

Faixa de Temperatura de Objetos -20 °C a 550 °C (-4 °F a 1022 °F) em dois intervalos

Precisão ± 2 °C (± 3.6 °F) ou $\pm 2\%$ da leitura para temperatura ambiente, 10 °C a 35 °C (50 °F a 95 °F), e temperatura de objetos acima de 0 °C (32 °F)

Armazenamento de imagens

Funções de armazenamento digital com Imagens JPEG com calibragem padrão com dados de medição de 14 bits inclusos.

Condições ambientais

Faixa de temperatura de operação -15°C a +50°C (5°F a 122°F)

Faixa de temperatura de armazenagem -40°C a +70°C (-40°F a 158°F)

Umidade Operação e armazenagem IEC 60068-2-30/24h, 95% de umidade relativa

Tabela/correção de emissividade: Tabela de emissividade de materiais predefinidos/variável de 0,1 a 1,0

Figura 17: Câmera térmica FLIR E6-XT



Fonte: Autor (2021).

O medidor de stress térmico modelo TGD-200 marca INSTRUTHERM, é um equipamento compacto, preciso, e de fácil operação. Composto de Indicador e Módulo-Sensor com 3 Sondas, indica as medições de Bulbo Seco, Bulbo Úmido, temperatura de globo e efetua o cálculo de IBUTG. Na Figura 18 temos a representação do medidor de stress térmico modelo TGD-200.

Interno e Externo

- Display: Cristal Líquido (LCD) de 3 1/2 dígitos
- Escala: -10 a 150°C
- Resolução: 0,1°C
- Exatidão: $\pm 0,5^\circ\text{C}$
- Indicador e Módulo-Sensor: (destacável) com 3 sondas
- Cálculo de IBUTG: Interno e Externo
- Taxa de Amostragem: 3 / seg.
- Congelamento de leitura
- Temperatura de Operação: -10 a 50°C
- Alimentação: 1 Bateria de NiCa recarregável com recarregado embutido ou rede 100 a 240VCA
- Dimensões: Peso: 193 x 112 x 52 mm / 500g.
- Dimensões da Maleta: 258 x 277 x 180 / 1,660Kg
- Rosca para Tripé: 3/8

MÓDULO DO SENSOR

- Bulbo Úmido: Haste c/ copo de 100ml e Cordão de pano
- Bulbo Seco: Haste para temperatura ambiente
- Esfera Térmica: De cobre com haste central. Obs.: As hastes são construídas em PT-100 Classe A,
Norma DIN 43760
- Temperatura de Operação: (0 à 100) °C
- Dimensões / Peso: 168 x 37 x 51 mm / 200g (sem esfera).

Figura 18: Medidor de estresse térmico digital portátil modelo TGD 200



Fonte: Autor (2021).

4.6 COLETA DE DADOS – MEDIÇÃO

4.6.1 Medição com equipamento fixo

Para a coleta de dados, o equipamento fixo usado foi o medidor de estresse térmico IBUTG TGD 200, para usá-lo deve-se conectar ao tripé e ajustar na altura do tórax o ideal é colocá-lo na altura da área do corpo, onde o trabalhando está sendo mais afetado pelo calor, mas por não conhecer, usasse a altura do tórax do medidor o qual está executando, prosseguindo deve-se colocar água destilada no bulbo úmido e esperar a malha de algodão estar totalmente úmida, então liga-se o equipamento e espera de 20 a 30 minutos em cada ponto que irá ser analisar para assim diminuir os erros e o equipamento se estabilizar com as condições do ambiente.

- I. **Medições do Bulbo Úmido:** A termômetro de bulbo úmido é usado para medir o calor influenciado pela umidade do ar. A temperatura de bulbo úmido é a temperatura mais baixa que pode ser alcançada apenas pela evaporação da água. Esta é a temperatura que se sente quando a pele está molhada e está exposta à movimentação de ar. Ao contrário da temperatura de bulbo seco, a temperatura de bulbo úmido é uma indicação da quantidade de umidade no ar. Quanto menor a umidade relativa do ar, maior o resfriamento.
- II. **Medições do Bulbo Seco:** O termômetro de bulbo seco mede a temperatura do ambiente onde está inserido.

III. Medições da Esfera Térmica

O termômetro de globo tem como finalidade medir o calor radiante existente no ambiente de trabalho.

4.6.2 Medições com equipamento móvel

- I. Medição de temperatura sem contato: foram coletados termogramas das áreas internas e externas do Bloco Administrativo, do centro de convivências e das paredes internas e externas da copa e do auditório no bloco administrativo utilizando a câmera térmica FLIR E6-XT. As medições ocorreram durante dois dias em um período de 9:00 horas sendo repedidas a cada hora nesse intervalo de tempo, iniciando-se as 9:00 horas e finalizado as 16:00 horas. A distância de medição externa foi sempre constante e igual ao intervalo de 10 m e internamente o intervalo foi de 5 m. O valor da distância obedece às medidas estabelecidas no manual do equipamento, de modo a evitar ou minimizar as incertezas no processo de coleta de dados para a termográfica. A Tabela 8 apresenta o grau de emissividade para algumas superfícies.

Tabela 8: Emissividades (ϵ) para radiações a temperaturas

Tipo de superfície	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Caiação nova	0,9
Concreto aparente	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,90 / 0,98
Vidro incolor	0,84
Vidro colorido	0,84
Vidro metalizado	0,15 / 0,84
Pintura: Branca	0,9
Amarela	0,9
Verde clara	0,9
“Alumínio”	0,5
Verde escura	0,9
Vermelha	0,9
Preta	0,9

Fonte: ABNT 15220-2 (2005)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 AVALIANDO A TRANSFERÊNCIA DE CALOR UNIDIRECIONAL EM UMA PAREDE COMPOSTA.

As medições com o medidor de estresse térmico foram realizados durante os meses de agosto, setembro, outubro, dezembro de 2020 e maio de 2021, já medições com o termógrafo foram realizadas no último dia do mês de setembro e no primeiro dia de outubro do ano de 2021, deve-se considerar a influência do meio ambiente, sendo assim, para o estado do Rio Grande do Norte especificamente para Pau dos Ferros, os períodos do ano mais quentes são os de outubro a fevereiro, enquanto os meses mais frios são os de junho a agosto.

A seguir apresenta-se a transferência de calor unidirecional em regime estacionário aplicado sobre duas paredes plana analisadas. Os principais resultados devem-se a diferença de temperatura ΔT , entre as superfícies internas e externas. A Tabela 9 apresenta os valores da temperatura interna e externa das paredes do auditório e da copa.

Tabela 9: Medidas das temperaturas internas e externas das paredes do auditório e da copa.

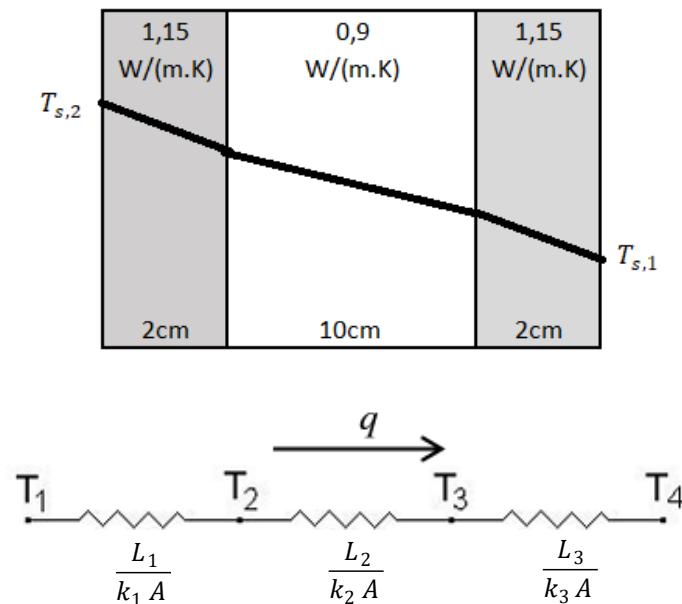
Parede Auditorio Administrativo Dia 01/10/2021			Parede Copa Administrativo Dia 01/10/2021		
PONTO	HORAS	TEMPERATURA (°C)	PONTO	HORAS	TEMPERATURA (°C)
1° INTERNO	09:00	32,1	1° INTERNO	09:00	30,5
	10:00	33,3		10:00	30,8
	11:00	33,5		11:00	30,9
	12:00	34		12:00	31,6
	13:00	34,5		13:00	31,9
	14:00	35,1		14:00	32,7
	15:00	35,1		15:00	33,3
	16:00	35,4		16:00	34,9
2° EXTERNO	09:00	32,7	2° EXTERNO	09:00	30,2
	10:00	34,7		10:00	31,8
	11:00	36,2		11:00	33,1
	12:00	36,2		12:00	34,6
	13:00	37,4		13:00	36,6
	14:00	37,3		14:00	39,8
	15:00	36,8		15:00	42,2
	16:00	36		16:00	40,6

Fonte: Autor (2021).

O cálculo do fluxo de calor na superfície externa ($x = 0$) e na superfície interna ($x = L$) da parede em função do tempo permite analisar as trocas de calor da parede com o meio.

A fim de determinar apenas a transferência de calor por condução da parede composta formada por tijolo e rebocada em ambas as faces de argamassa, considerando uma área unilateral de $1m^2$ e as seguintes condições de contorno: condução unidimensional, regime permanente e sem geração de calor. A Figura 19 apresenta o circuito térmico equivalente para uma parede composta em série e na Tabela 10 tem-se os valores da variação de temperatura, resistência térmica total e a taxa de transferência calor.

Figura 19: Circuito térmico equivalente para uma parede composta em série.



Fonte: Autor (2021)

Sendo a resistência térmica total $R_T = \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{L_3}{k_3 A}$ tem:

Material:

Argamassa Comum; $R_{t1} = \frac{L_1}{k_1 A} = \frac{0,02}{1,15 \cdot 1}$

$$R_{t1} = R_{t3} = 0,017(K/W)$$

Tijolo; $R_{t2} = \frac{L_2}{k_2 A} = \frac{0,1}{0,9 \cdot 1}$

$$R_{t2} = 0,111(m^2K/W)$$

Resistência térmica total

$$R_T = R_{t1} + R_{t2} + R_{t3}$$

$$R_T = 0,1459 (K/W)$$

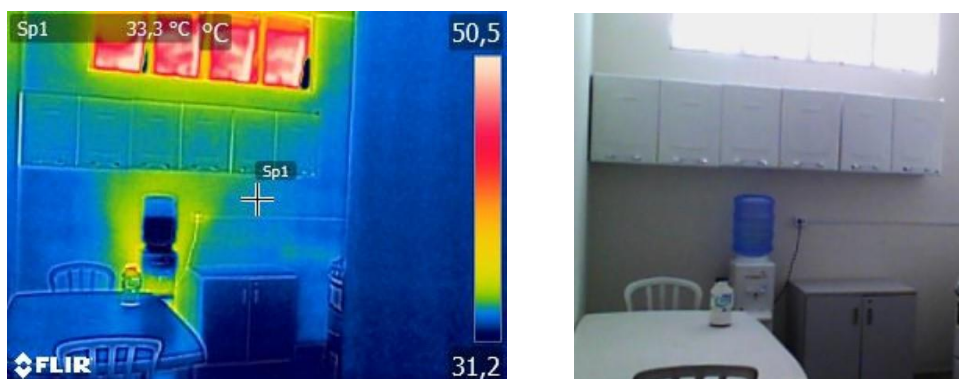
Tabela 10: A taxa de transferência de calor para as variações de temperatura interna e externas.

Parede Auditório	HORAS	Variação de temperatura interna e externas (ΔT)	Resistencia térmica Total ($^{\circ}C/W$)	Taxa de transferencia de calor (W)
	09:00	0,6	0,1459	4,11
	10:00	1,4		9,60
	11:00	2,7		18,51
	12:00	2,2		15,08
	13:00	2,9		19,88
	14:00	2,2		15,08
	15:00	1,7		11,65
	16:00	0,6		4,11
Parede Copa	HORAS	Variação de temperatura interna e externas (ΔT)	Resistencia térmica Total ($^{\circ}C/W$)	Taxa de transferencia de calor (W)
	09:00	-0,3	0,1459	-2,06
	10:00	1		6,85
	11:00	2,2		15,08
	12:00	3		20,56
	13:00	4,7		32,22
	14:00	7,1		48,67
	15:00	8,9		61,00
	16:00	5,7		39,07

Fonte: Autor (2021)

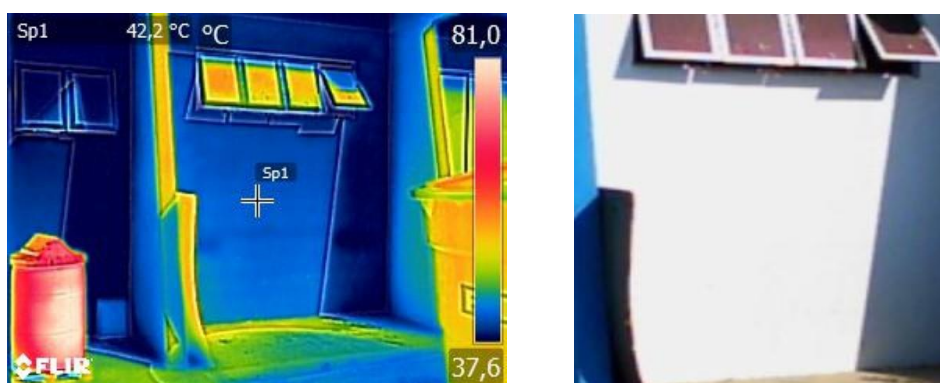
As imagens a seguir apresentada nas Figuras 20, 21, 22 e 23 foram coletadas no horário o qual as paredes tiveram mais variação de temperatura interna e externas, na imagem térmica pode-se notar as temperaturas no horário das 15 horas para as paredes da copa e das 13 horas para a parede do auditório.

Figura 20: Termograma e foto da parede interna Copa às 15 horas



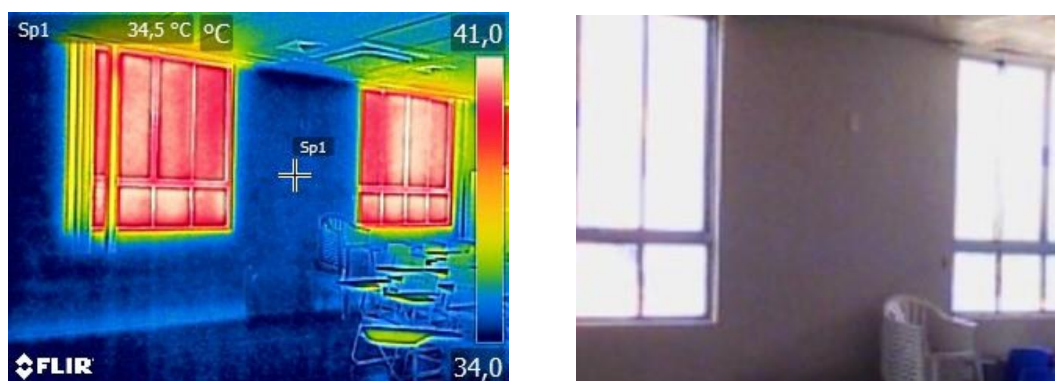
Fonte: Autor (2021)

Figura 21: Termograma e foto da parede externa Copa às 15 horas



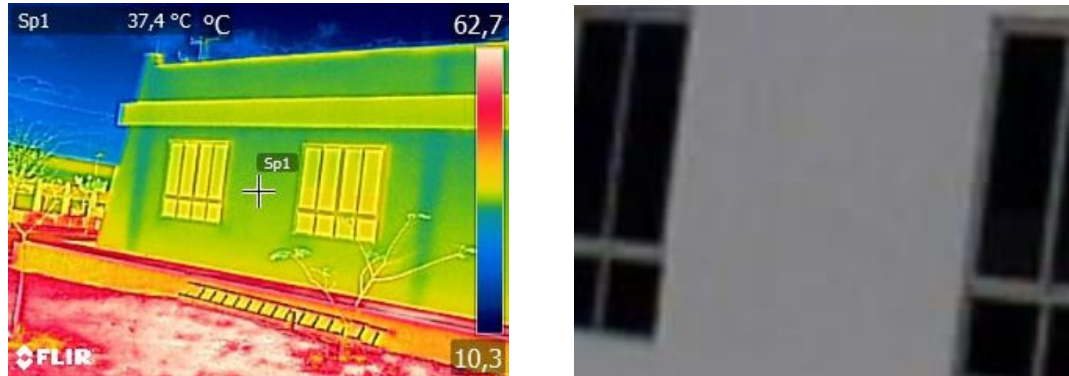
Fonte: Autor (2021)

Figura 22: Termograma e foto da parede interna auditório do Administrativo às 13 horas



Fonte: Autor (2021)

Figura 23: Termograma e foto da parede externa auditório do Administrativo às 13 horas



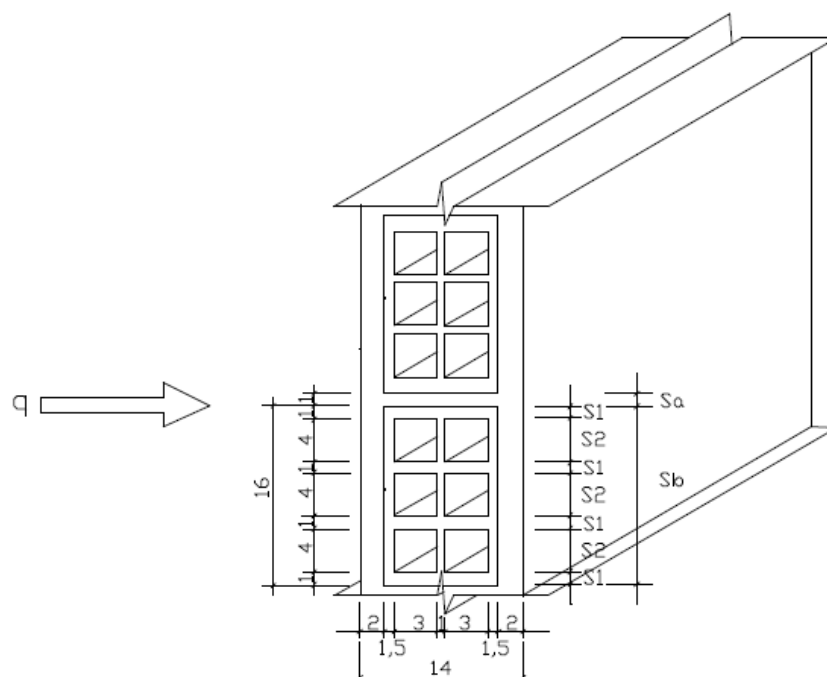
Fonte: Autor (2021)

As maiores variações de temperatura se deram no horário das 13:00 e 15:00 devido à forte incidência de raios solares sobre as paredes do auditório e da copa nesse período. O fluxo máximo é um dado importante para estudar o conforto térmico e a capacidade de isolamento das paredes.

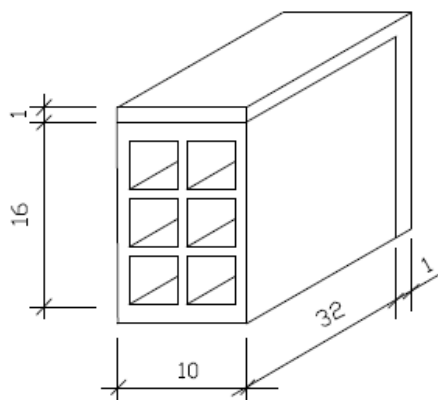
Para as condições, comum de do dia a dia, consideram-se as paredes de tijolos cerâmicos de seis furos rebocados em ambas as faces.

Figura 24: Parede de tijolos cerâmicos de seis furos rebocados em ambas as faces.

Vista em perspectiva



Elemento isolado



Fonte: ABNT 15220-2 (2003)

As paredes analisadas tiveram área unilateral considerada de 1m^2 e espessura das paredes é de 0,14 m.

Assim, pode-se determinar segundo os parâmetros adotados pela norma de desempenho térmico a resistência térmica da parede, resistência térmica total, capacidade térmica da parede, transmitância térmica e a capacidade térmica da parede.

A Tabela 11 apresenta a densidade, capacitância térmica

Tabela 11: Análise do material

Material	ρ (kg/m ³)	k W/(m.K)	c kJ/(kg.K)	e Espessura (m)
Argamassa comum	1800-2100	1,15	1	0,01
Reboco	1800-2100	1,15	1	0,1
Tijolos e telhas de barro	1300-1600	0,9	0,92	0,2
Dimensão tijolo	32x16x10			

Fonte: ABNT 15220-2 (2003)

Para a câmara de ar segue a Tabela 12, $R_{ar} = 0,16 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$ pois se trata de uma superfície de alta emissividade com espessura da câmara de ar = 3,0 cm, fluxo horizontal.

Tabela 12: Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura

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

Fonte: ABNT 15220-2 (2005)

Para encontrar a transmitância térmica da parede e a capacitância térmica, deve-se calcular a resistência térmica da parede e a resistência térmica total. A resistência térmica da parede foi calculada considerando as seções, seção A (reboco + argamassa + reboco), Seção B (Reboco + tijolo + reboco) e Seção C (Reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco), onde em cada seção será calculada a sua área e sua resistência térmica. A resistência térmica total é a soma das resistências térmicas total da parede com as resistências térmicas internas e externas, onde essa, resistência são valores tabelados apresentadas na Tabela 2. A transmitância térmica é calculada aplicando o inverso no valor da resistência térmica total, a capacitância térmica é determinada multiplicando os valores da espessura, da capacitância térmica do material e de sua densidade sendo aplicando para as seções A, B e C determina assim a capacitância térmica total.

Para os cálculos foram adotados os valores apresentados nas Tabelas 11 e 12, nas letras a, b, c, d foram determinadas a resistência térmica da parede, resistência térmica total, transmitância térmica e a capacitância térmica.

a) Resistência térmica da parede:

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,32 + 0,01 \times 0,17 = 0,0049m^2$$

$$R_a = \frac{e_{reboco}}{k_{reboco}} + \frac{e_{argamassa}}{k_{argamassa}} + \frac{e_{reboco}}{k_{reboco}}$$

$$R_a = 0,1217(m^2 \cdot k/W)$$

Seção B (Reboco + tijolo + reboco)

$$A_b = 0,01 \times 0,32 = 0,0032 m^2$$

$$R_b = \frac{e_{reboco}}{k_{reboco}} + \frac{e_{tijolo}}{k_{tijolo}} + \frac{e_{reboco}}{k_{reboco}}$$

$$R_b = 0,1459(m^2 \cdot k/W)$$

Seção C (Reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco)

$$A_c = 0,04 \times 0,32 = 0,0128m^2$$

$$R_c = \frac{e_{reboco}}{k_{reboco}} + \frac{e_{tijolo}}{k_{tijolo}} + R_{ar} + \frac{e_{tijolo}}{k_{tijolo}} + R_{ar} + \frac{e_{tijolo}}{k_{tijolo}} + \frac{e_{reboco}}{k_{reboco}}$$

$$R_c = 0,3992(m^2 \cdot k/W)$$

Logo a resistência total da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + 4A_b + 3A_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{4A_b}{R_b} + \frac{3A_c}{R_c}}$$

$$R_t = 0,2502 (m^2 \cdot k)/W$$

b) Resistência térmica total:

Os valores de R_{si} e R_{se} são valores tabelados apresentados na tabela 2

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

$$R_T = 0,13 + 0,2502 + 0,04$$

$$R_T = 0,4202 (m^2 \cdot k)/W$$

c) Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,4202} = 2,38 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

d) Capacitância térmica

$$CT = e \cdot c \cdot \rho$$

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

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,32 + 0,01 \times 0,17 = 0,0049 m^2$$

$$C_{Ta} = (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} + (e \cdot c \cdot \rho)_{argamassa} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco}$$

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

$$C_{Ta} = 280 \text{ kJ}/(m^2 \cdot k)$$

Seção B (Reboco + tijolo + reboco)

$$A_b = 0,01 \times 0,32 = 0,0032 m^2$$

$$C_{Tb} = (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} + (e \cdot c \cdot \rho)_{tijolo} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco}$$

$$C_{Tb} = 2 \cdot (0,02 \times 1,0 \times 2000) + 0,10 \times 0,92 \times 1600$$

$$C_{Tb} = 227 \text{ kJ}/(m^2 \cdot k)$$

Seção C (Reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco)

$$A_c = 0,04 \times 0,32 = 0,0128 m^2$$

$$C_{Tc} = (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco} + (e \cdot c \cdot \rho)_{tijolo} + (e \cdot c \cdot \rho)_{camada \text{ de ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{tijolo}$$

$$+ (e \cdot c \cdot \rho)_{camada \text{ de ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{tijolo} + (e \cdot c \cdot \rho)_{reboco}$$

$$C_{Tc} = 2 \cdot (0,02 \times 1,0 \times 2000) + 0,04 \times 0,92 \times 1600$$

$$C_{Tc} = 139 \text{ kJ}/(m^2 \cdot k)$$

Portanto a capacidade térmica da parede será

$$C_T = \frac{A_a + 4A_b + 3A_c}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{4A_b}{C_{Tb}} + \frac{3A_c}{C_{Tc}}}$$

$$C_T = 160 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$$

Segundo a NBR 15220-3 (2005) os valores máximos para a transmitância térmica de paredes externas e os valores mínimos admitidos para a capacidade térmica de paredes externas apresentados nas tabelas 13 e 14, para uma avaliação simplificada de desempenho térmico são:

Tabela 13: Valores máximos para a transmitância térmica de paredes externas

Transmitância térmica U $\frac{W}{\text{m}^2 \cdot K}$		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$a \leq 0,6$	$a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
a é absorptância a radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte (GUIA CBIC, 2013)

Tabela 14: Valores mínimos admitidos para a capacidade térmica de paredes externas

Capacitância térmica CT $\frac{Kj}{\text{m}^2 \cdot K}$	
Zonas 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem requisito	≥ 130

Fonte (GUIA CBIC, 2013)

Sendo Pau dos ferros uma zona bioclimática do tipo 7 os valores para a transmitância térmica e a capacidade térmica de paredes externas estão dentro do valor estabelecido pela NBR 15220-3 (2005). Entretanto, algumas medidas podem ser aplicadas para melhorar e promover o conforto no ambiente em questão e colaborar com a infraestrutura.

Uma dessas práticas é utilização de isolantes térmicos na região interna das paredes, o método Drywall é um exemplo perfeito dessa prática, pois, se dá por perfil de placas de gesso cujo o interior é preenchido de material isolante que pode ser tanto térmico como acústico entre esses materiais estão a lá mineral, de vidro ou de rocha. O sistema é bastante prático e rápido na construção apresentando um grande desempenho em isolamento térmico, isso se dá devido ao seu interior de ar, presente na camada interna não permitindo a absorção das temperaturas externas ao ambiente. As paredes externas podem ser confeccionadas por esse método, entretanto deve ser utilizado placas de cimentícias ao invés das de gesso acantonado, pois as placas cimentícias se caracterizam por ser um produto homogêneo e durável, apresentando grande resistência e impermeabilidade. Além disso, as placas externas cimentícias não sofrem

grandes alterações na temperatura e nem são facilmente contaminadas por fungos, bactérias ou insetos, o que garante ainda mais durabilidade e vida útil.

O conforto térmico das edificações também pode ser obtido através da utilização de elementos que cercam a construção, como a distância entre outras construções proporcionando uma ventilação ideal no imóvel. Além disso, a implementação de vegetação que servirá como sombra para a construção, além de criar caminhos para a ventilação. Outro elemento muito importante para proporcionar uma sensação térmica agradável é a criação de espelhos d'água próximo à construção, já que ele permitirá compor um microclima na edificação.

5.2 AVALIAÇÃO DE LIMITE DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

O limite de exposição ocupacional ao calor é dado pelo valor de IBUTG sendo que existe um valor máximo permissível que correlaciona ao valor da taxa metabólica perante as condições de exposição a ser avaliada. As taxas metabólicas serão determinadas de acordo com cada atividade a ser executada pelo indivíduo. Para os servidores que trabalham no bloco administrativo a taxa metabólica será de $M = 202,5 \text{ W}$ sendo considerado um trabalho moderado com mãos e braços e estando sentado, para isso o IBUTG máximo permissível irá corresponder em torno de $\pm 30,2^\circ \text{C}$.

Tabela 15: Dados coletados com medidor de estresse térmico TGD 200, IBUTG calculado para os pontos externos do bloco administrativo.

PONTO	DATA	BULBO ÚMIDO	BULBO SECO	GLOBO	IBUTG
1º EXTERNO	21/08/2020	27,8	42,1	54,1	34,49
	21/09/2020	25,5	39,7	48,4	31,5
	21/10/2020	25,1	40,3	49,4	31,48
	02/12/2020	26,8	41,0	50,8	33,02
	24/02/2021	26,2	30,2	38,9	29,14
2º EXTERNO	21/08/2020	27,8	42,1	52,0	34,07
	21/09/2020	27,9	43,2	52,8	34,41
	21/10/2020	25,6	41,1	52,0	32,43
	02/12/2020	27,0	42,1	51,5	33,41
	24/02/2021	25,6	29,5	36,2	28,11
3º EXTERNO	21/08/2020	27,0	40,9	48,1	32,61
	21/09/2020	27,5	40,9	55,0	34,34
	21/10/2020	25,4	40,8	51,0	32,06
	02/12/2020	26,0	41,5	52,2	32,79
	24/02/2021	26,4	30,8	36,6	28,88

4° EXTERNO	21/08/2020	24,0	35,4	36,9	27,72
	21/09/2020	25,3	36,0	38,8	29,07
	21/10/2020	24,5	38,6	37,0	28,41
	02/12/2020	25,7	39,4	39,6	29,85
	24/02/2021	27,3	32,8	36,2	29,63

Fonte: Autor (2021)

A Tabela 15 e 16 apresenta os dados coletados e o valor do IBUTG para os pontos externos e internos do bloco administrativo. Na Tabela 17 tem-se o valor máximo para o $\overline{IBUTG}_{MÁX}$.

Tabela 16: IBUTG calculado para os pontos internos do bloco administrativo.

PONTO	DATA	BULBO ÚMIDO	BULBO SECO	GLOBO	IBUTG
5° INTERNO	21/08/2020	24,5	34,5	36,7	28,16
	21/09/2020	25,4	34,2	34,8	28,22
	21/10/2020	22,1	34,6	34,9	25,94
	02/12/2020	25,4	34,4	35,1	28,31
	24/02/2021	25,7	28,5	30,0	26,99
6° INTERNO	21/08/2020	24,7	34,0	34,9	27,76
	21/09/2020	24,5	34,9	37,8	28,49
	21/10/2020	22,6	34,8	36,7	26,83
	02/12/2020	25,8	34,5	39,0	29,76
	24/02/2021	26,0	29,0	31,7	27,71

Fonte: Autor (2021)

O limite de exposição ocupacional ao calor é estabelecido com base no IBUTG médio ponderado ($\overline{IBUTG}$) e na taxa metabólica média ponderada ($\bar{M}$). Este é um limite horário e portanto, deve ser respeitado em qualquer período de 60 minutos corridos ao longo da jornada de trabalho. O $\overline{IBUTG}$ e a $\bar{M}$ a serem utilizados como representativos da exposição ocupacional ao calor devem ser aqueles que, obtidos no mesmo período de 60 minutos corridos, resultem na condição mais crítica de exposição.

Os limites de exposição ocupacional ao calor para trabalhadores não aclimatizados ($\overline{IBUTG}_{MÁX}$) estão apresentados na Tabela 17 para o valor da taxa metabólica média encontrada.

Tabela 17: IBUTG bloco administrativo

Bloco Administrativo	$\overline{IBUTG}$ (°C)	$\bar{M}$ (W)	$\overline{IBUTG}_{MAX}$ (°C)
21/08/2020	29,38	202,5	± 30,2
21/09/2020	29,68		
21/10/2020	27,96		
02/12/2020	30,11		
24/02/2021	27,88		

Fonte: Autor (2021)

Logo pode-se analisar que os limites de exposição de calor IBUTG médios para os dias analisados estão dentro dos valores limitantes de 30,2 °C

Para os servidores, funcionários e alunos que usam e frequentam a área do centro de convivência a taxa metabólica será de $M = 191$ W se estiver praticando as atividades sentado como um trabalho leve com braços e pernas, repouso ou em movimento andando no plano sem carga a 2 km/h, assim o IBUTG máximo permissível irá corresponder em torno de $\pm 30,4$ °C.

A Tabela 18 e 19 apresenta os dados coletados e o valor do IBUTG para os pontos externos e internos do Centro de convivência. Na Tabelas 20 tem-se o valor máximo para o $\overline{IBUTG}_{MAX}$ (°C).

Tabela 18: Dados coletados com medidos de estresse térmico TGD 200, IBUTG calculado para os pontos externos do Centro de convivência.

PONTO	DATA	BULBO ÚMIDO	BULBO SECO	GLOBO	IBUTG
1º EXTERNO	25/08/2020	24,7	35,4	43	29,43
	23/09/2020	24,5	35	44	29,45
	23/10/2020	24,1	35	35,8	27,53
	03/12/2020	24,3	35,2	37	27,93
	25/02/2021	25,1	29	32,3	26,93
	11/05/2021	23,7	32,4	38,1	27,45
2º EXTERNO	25/08/2020	24,8	34,4	44,2	29,64
	23/09/2020	25,3	35,7	38,3	28,94
	23/10/2020	24,3	36	39,4	28,49
	03/12/2020	24,7	36,1	41	29,1
	25/02/2021	26,2	31,9	38,3	29,19
	11/05/2021	23,8	31,4	39,4	27,68
3º EXTERNO	25/08/2020	23,1	31,8	33,5	26,05
	23/09/2020	23,6	34,9	36,9	27,39
	23/10/2020	24	37	40,3	28,56
	03/12/2020	24,2	37,6	41,8	29,06
	25/02/2021	25,8	31,5	39,4	29,09
	11/05/2021	23,2	29,7	39,6	27,13

4º EXTERNO	25/08/2020	23,3	32,2	33,9	26,31
	23/09/2020	25,1	39,2	51,9	31,87
	23/10/2020	23,8	36,5	40,6	28,43
	03/12/2020	24,3	37	41,3	28,97
	25/02/2021	25,2	29,7	36,8	27,97
	11/05/2021	23,5	29,5	30,9	25,58

Fonte: Autor (2021)

Tabela 19: IBUTG calculado para os pontos internos do centro de convivência

PONTO	DATA	BULBO ÚMIDO	BULBO SECO	GLOBO	IBUTG
5º INTERNO	25/08/2020	22,6	31,6	32,3	25,51
	23/09/2020	23,5	34,8	36,5	27,4
	23/10/2020	23,8	33,9	34,7	27,07
	03/12/2020	24	33,1	33	26,7
	25/02/2021	24,4	28,8	30,3	26,17
	11/05/2021	22,9	28,5	29,4	24,85
6º INTERNO	25/08/2020	23,2	32,6	33,5	26,29
	23/09/2020	22,5	33,6	34,6	26,13
	23/10/2020	23,5	34,6	35,6	27,13
	03/12/2020	23,9	33,6	34,2	26,99
	25/02/2021	25,3	29,8	35,1	28,24
	11/05/2021	23,1	30,4	30,1	25,2
7º INTERNO	25/08/2020	23,3	32,5	33,6	26,39
	23/09/2020	22,9	34,3	35,6	26,71
	23/10/2020	24,3	34,8	35,8	27,75
	03/12/2020	24,5	34,2	34,5	27,5
	25/02/2021	25	29,4	30,5	26,65
	11/05/2021	23,4	29	29,8	25,32

Fonte: Autor (2021)

Tabela 20: IBUTG Centro de convivência

Centro de Convivencia	$\overline{IBUTG}$ (°C)	$\bar{M}$ (W)	$\overline{IBUTG}_{MAX}$ (°C)
25/08/2020	28,83	191	± 30,4
23/09/2020	29,86		
23/10/2020	29,91		
03/12/2020	29,89		
25/02/2021	29,70		
11/05/2021	27,83		

Fonte: Autor (2021)

Pela análise dos resultados obtidos, pode-se observar que para o valor máximo permissível do IBUTG tanto para o bloco administrativo como para o centro de convivência apresentou os resultados na norma NBR 15 evidenciando assim uma boa condição térmica.

Contudo, mesmo que as exposições sejam consideradas aceitáveis, a adoção de medidas corretivas que reduzam os níveis de exposição deve ser aplicada.

Entre as diversas medidas corretivas, podem ser citadas:

- Redução da temperatura ou da emissividade das fontes de calor. Essa a medida pode ser tomada utilização de elementos que cercam a construção, como a implementação de vegetação que servirá como sombra para a construção é a criação de espelhos d'água próximo à construção, já que ele permitirá compor um microclima na edificação. A implementação de áreas verdes e arborização do é uma das medidas que vem sendo mais implementada no campus da UFERSA de Pau dos Ferros.
- Utilização de barreiras refletoras ou absorventes, algumas dessas barreiras são os brise-soleil e quebra-sol em janelas, cuja a função é proteger contra a radiação solar servindo como um protetor térmico, bloqueando o aumento da temperatura na área interna.
- Adequação da ventilação é adotada quando um ambiente apresenta pouca circulação de ar, assim é necessário deixar a porta aberta para facilitar a circulação de ar com ambiente.
- Disponibilização de locais termicamente mais amenos para recuperação térmica. A climatização através da refrigeração artificial proporciona a amenizar a sensação de conforto térmico e calor, mesmo sendo é uma medida que não foi aprofundada nesse trabalho, pois se trata da NR 17 Ergonomia, a influência de ambiente termicamente confortável com uma boa circulação de ar ou climatizados influenciam no conforto térmico e melhora o desempenho das atividades que estão sendo feitas nesse ambiente.

6. CONCLUSÃO

- O presente estudo teve como base avaliar as transferências de calor e conforto térmico adotando as normas regulamentadoras NBR 15575 (2021), NR 15 anexo nº 3 e NBR 15220-3, a qual tratam respectivamente do desempenho térmico das edificações, atividades e operações insalubres adotando os limites de tolerância para exposição ao calor e de modo mais específico a NBR 15220-3 trata do desempenho térmico das edificações por meio do zoneamento bioclimático brasileiro. Compreendendo a necessidade de adotar estratégias para melhorar o conforto e desempenho térmico.
- Em relação às estratégias, medidas construtivas e corretivas uma das mais adotadas pela UFERSA Campus Pau do Ferros é a implementação de vegetação que servirá como sombra para a construção, sendo uma das principais estratégias para melhorar o conforto térmico através da arborização do campus.
- A avaliação de desempenho térmico das paredes possuem índice adequado, pois os valores de transmitância térmica $2,38 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ e capacitância térmica $160 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ estão dentro dos dados proposto pela norma NBR 15220-3.
- Para o tipo de atividade desenvolvida não existe sobrecarga térmica acima do limite de tolerância, pois o IBUTG não superou os valores de $30,2 \text{ }^\circ\text{C}$ para o bloco administrativo e de $30,4 \text{ }^\circ\text{C}$ para o centro de convivência.
- A avaliação de desempenho térmico para as paredes e os limites de exposição ocupacional para as áreas internas e externas do Bloco administrativo e do centro de convivências apresentaram condições de ambiente termicamente aceitáveis nos níveis climáticos.
- É fundamental adotar medidas e estratégias que proporcione uma melhor condição de conforto térmico, pois um ambiente desconfortável termicamente provoca mal-estar e pode comprometer a produtividade e a saúde de seus ocupantes.

REFERÊNCIAS

ARANTES, Beatriz. **Conforto térmico em habitações de interesse social: um estudo de caso**. 2012. 89 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico**. Rio de Janeiro, dezembro de 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT/cb-02 projetos 02:135.07-001/2. **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações** Rio de janeiro, dezembro de 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT/cb-02 projetos 02:135.07-001/3. **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de janeiro, dezembro de 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT/cb-02 projetos 02:136.01-001/1. **NBR 15575: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho**. Rio de Janeiro, setembro de 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-2: Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais**. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho – Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas**, Rio de Janeiro, 2021

ADELINO, Viviane Mirela. **Conforto térmico no desempenho das edificações**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFRSA. Pau dos Ferros-RN, 2021.

BARBIERO, Miriam. **Avaliação das percepções quanto ao ambiente térmico em uma indústria metalúrgica: um estudo de caso.** 2004.

BARRODA, Marcelo Rosário da. **Princípios fundamentais da transferência de calor.** Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. 2 de agosto de 2004.

BITTENCOURT, L. S.; CÂNDIDO, C. M. **Introdução à ventilação natural.** 3. ed. Maceió: EDUFAL, 2008.

BELISIO, ADRIANO SILVA. **Fenômenos de transportes.** 2017.

BERGMAN, Theodore L. et al. **Incropera's principles of heat and mass transfer.** Wiley Global Education, 2017.

BRAGA, Nathália; SABOYA, Renato de; ORDENES, Martin. Espacialidade Arquitetônica e Desempenho Térmico de Residências Contemporâneas em Clima Tropical Quente e Úmido. **Conforto & projetos: Edifícios.** ENCAC/ELACAC Brasília 2013. p. 13-32.

BORMIO, Mariana Falcão. **Sinalização visual de segurança: estudo de caso SENAI Lençóis Paulista.** Monografia de especialização (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho). Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). **Desempenho de edificações habitacionais: Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013.** Brasília 2013.

COSTA, E. Q. **"Adaptação climática, metabolismo e produtividade."** Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, Portugal, 2011.

COSTA, José Augusto Ribeiro da. **A evolução da Arquitectura Bioclimática: contributo para a sustentabilidade arquitetônica e urbana.** 2008.

DA SILVA, Maurício Veiga. **Robótica educacional: um recurso para a exploração de conceitos relacionados à transferência de calor no ensino médio**. Dissertação de mestrado, Centro universitário Univates. Lajeado, julho de 2017.

DIAS, Ana Alexandra Cunha. **Avaliação da percepção da influência do conforto térmico na produtividade**. 2013. Tese de Doutorado.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GARNICA, Mariana; LAMBERTS, R. **Diretrizes construtivas utilizando o zoneamento bioclimático brasileiro**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2011.

GIAMPAOLI, FERREIRA DE SOUZA, Irene; SAAD, Duarte; et al. **Norma de Higiene Ocupacional NHO 06: Avaliação da exposição ocupacional ao calor Procedimento técnico**. 2ª. ed. São Paulo, 2017

GOMES, Marcelo Carboni. **Reciclagem cibernética e inclusão digital: uma experiência em informática na educação**. In: LAGO, Clênio (Org.). Reescrevendo a Educação. Chapecó: Sinproeste, 2007

GONÇALVES H., M. Oliveira Panão, et al. **Ambiente Construído, Clima Urbano e Utilização Racional de Energia nos Edifícios da Cidade de Lisboa**, INETI, Lisboa (2004).

HANDBOOK, ASHRAE et al. HVAC applications. **ASHRAE Handbook, Fundamentals**, 2007.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

INCROPERA, Frank P. **Fundamentos de Transferência de calor e massa**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

KREITH, Frank; BOHN, Mark S. **Princípios de Transferência de Calor**—Ed 7. São Paulo: Pioneira Thomson Learning Ltda, 2016.

LAMBERTS, Roberto; Xavier, Antônio; Vecchi, Renata De. **Conforto e stress térmico**. LabEEE, UFSC, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 2014.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PAPST, Ana L. **Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal, 2000.

MALHEIROS, F. V. A. **Desempenho térmico de pavilhões industriais: estudo de caso em Panambi/RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

MARQUES, Nelson L. R; ARAUJO, Ives S. **Física térmica** (Textos de apoio ao professor de Física, nº 5, volume 9). Produto do trabalho de conclusão do Curso de Mestrado Profissional, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

MARTINS, Paula Daniela. **Estudo dos principais desafios do desempenho térmico das edificações no Brasil**. Ouro Preto, 2019.

MENEZES, M. S. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo – RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2006.

MEREB, Márcia Pellegrini et al. **Guia para arquitetos na aplicação da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575**. São Paulo: ASBEA, 2015.

NORMA DE HIGIENE OCUPACIONAL06(NHO-06): **Avaliação da exposição ocupacional ao calor**. 2. ed.São Paulo: Fundacentro, 2017.

NORMA REGULAMENTADORA N°. 15 – Anexo 3. **Limites de tolerância para exposição ao calor.** Portaria nº. 1.359 de 09 de dezembro de 2019. Disponível em:< <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-1.359-de-9-de-dezembro-de-2019-232663857>>. Acesso em: 10 ago. 2021

OLIVEIRA, S.; COSTA, C. S. **Análise do conforto térmico em uma sala de aula.** Revista Conexão Ciência, Formiga, v. 9, n. 1, p. 74-84, 2014.

PADILHA, A. **Higiene do trabalho – Módulo: Temperaturas extremas.** Apostila do Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho. Bauru, 2010.

QUITES, Eduardo EC; LIA, Luiz Renato B. **Introdução à transferência de calor.** São Paulo, 2005.

SAKOI, Tomonori et al. **Heat balance model for a human body in the form of wet bulb globe temperature indices.** Journal of thermal biology, v. 71, p. 1-9, 2018.

SILVA, José Reinaldo Moreira da; TEIXEIRA, Renilson Luiz. **Sobrecarga térmica em fábrica de móveis.** Floresta e Ambiente, v. 21, p. 494-500, 2014.

SILVA, Vagnes Gonçalves da et al. Utilização de materiais potencialmente significativos sobre Transferência de calor para alunos do ensino médio. **Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review** – V4(1), pp. 81-97, 2014. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID52/v4_n1_a2014.pdf>. Acesso em: 15 agosto de 2021.

SORGATO, Márcio José; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. **Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. Conforto & projetos: Edifícios.** ENCAC/ELACAC Brasília 2013. p. 13-21.

VERSAGE, R. de S. **Ventilação natural e desempenho térmico de edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande, MS.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

Young, H. D; Freedman, R. A. **Física II-Termodinâmica e Ondas**. 12^a. ed. São Paulo, 2008

YUNUS A. BENGEL; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. AMGH Editora Ltda, 2012.