



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CÂMPUS PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ANEILTON JOEDSON MARTINS DO NASCIMENTO NEVES

DESEMPENHO TÉRMICO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO:
ESTUDO DE CASO DE UMA EDIFICAÇÃO

PAU DOS FERROS – RN
2016

ANEILTON JOEDSON MARTINS DO NASCIMENTO NEVES

DESEMPENHO TÉRMICO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO:
ESTUDO DE CASO DE UMA EDIFICAÇÃO

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Câmpus Pau dos Ferros para a obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Prof.^a Ma. Adla Kellen Dionisio
Sousa de Oliveira.

PAU DOS FERROS – RN

2016

© 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.

N511d Neves, Aneilton Joedson Martins do Nascimento.
Desempenho térmico de materiais de construção:
estudo de caso de uma edificação / Aneilton
Joedson Martins do Nascimento Neves. - 2016.
70 f. : il.

Orientadora: Adla Kellen Dionísio Sousa de
Oliveira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2016.

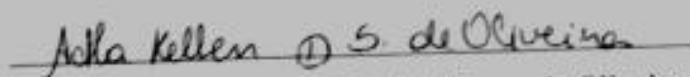
1. Materiais de construção. 2. Desempenho
térmico. 3. Propriedades térmicas. I. Oliveira, Adla
Kellen Dionísio Sousa de, orient. II. Título.

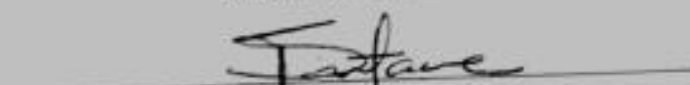
ANEILTON JOEDSON MARTINS DO NASCIMENTO NEVES

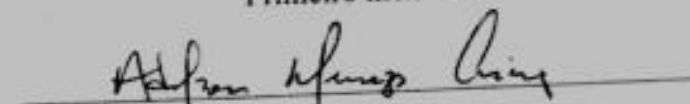
DESEMPENHO TÉRMICO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO:
ESTUDO DE CASO DE UMA EDIFICAÇÃO

Monografia apresentada a Universidade
Federal do Semi-Árido – UFERSA, Câmpus
Pau dos Ferros para a obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADO EM: 30/05/2016


Prof.^a Ma. Adla Kellen Dionisio Sousa de Oliveira
Presidente da banca


Profa.: Dra. Trícia Caroline da Silva Santana
Primeiro membro


Prof. Me: Adelson Menezes Lima
Segundo membro

A Jose Aurineto Neves (in memorian), que foi meu pai, e para sempre será minha fonte de inspiração, orgulho, fortaleza e persistência, um exemplo de pessoa a ser seguida. Razão de minha escolha pelo curso. Sei que você compartilha essa realização, pois mais que minha, ela é sua. Que a extensão através do seu amor seja as mãos que agora recebem este diploma junto às minhas. Assim, mais do que nunca, a sua presença se fará sentir, sou a continuidade do seu brilho.

A Maria Lima Barreto e Manoel Martins do Nascimento (in memorian), que foram meus avós maternos, e sempre quiseram me ver formado. As simplicidades deles me influenciaram a ser a pessoa que sou hoje. Com vocês, ri, aprendi, amei, brinquei e aprendi a ser família.

A Ioneida Martins do Nascimento Neves, minha mãe, que sempre acreditou em mim. Esse mérito também é seu, pelos sacrifícios que a senhora fez em razão da minha educação.

A Milena Antonella Martins Sá, minha filha, pela oportunidade de sentir a mais pura forma de amor, minha fonte inspiradora e, revelando-me a certeza de que todos os dias, ao lado dela, são maravilhosos. Essa é apenas uma pequena forma de provar meu amor, dedicando esse trabalho a você, minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pela minha fé e sua infinita misericórdia. Ele que me iluminou nessa jornada com força e coragem. Me propiciou, também saúde e sabedoria necessária para a realização dos meus objetivos.

A minha mãe, Ioneida Martins do Nascimento Neves, pelo apoio, amor, orações, dedicação, incentivo e toda preocupação ao meus estudos e sonhos. Temos muito o que viver, a senhora tem meu reconhecimento e compartilharemos muitos momentos felizes, segundo meus planos.

Aos meus irmãos, Antônio Alexsandro e Anderson Markys. Eles que depositam confiança e expectativas em minha pessoa, isso me incentiva a querer fazer o meu melhor e, com isso, torna-me um irmão respeitável.

A meu padrasto, Marcílio. Devo muito a essa pessoa que apesar de não compartilhamos o mesmo sangue, mas a consideração é como se fosse. Muitas vezes que dedicou do seu tempo, atenção e preocupação para mim, em prol dos meus estudos. Você sempre será lembrado quando estiver em minha carreira profissional.

A minha esposa, Lorena Celly Queiroz Sá e filha, Milena Antonella Martins Sá, elas que formam minha família. Os laços familiares são fundamentais para temos um amadurecimento, em todos os requisitos. O amor de vocês duas está sendo fundamental para me tornar um pai melhor. Aqui está uma conquista nossa.

A minha família, como um todo, pois ela é base para tudo, tanto para os que aqui ainda vivem, como também, para os que partiram dessa para uma vida melhor, todos têm uma parcela.

A instituição de ensino superior que estudo, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), a todos os professores que contribuíram na minha formação acadêmica. Em especial a minha orientadora, Adla Kellen Dionisio Sousa de Oliveira, pela orientação, sugestões, incentivos e todas as críticas construtivas que só vieram a acrescentar este trabalho, aprendi muito contigo, assumiu o papel de orientadora bem dedicada.

RESUMO

Este trabalho foi realizado partindo da necessidade de se avaliar o desempenho térmico dos materiais de construção usados em edificações de interesse social no semiárido do Rio Grande do Norte. Foi realizado um estudo de caso em uma edificação do município de Pau dos Ferros. A habitação foi construída pelo programa do governo federal, Minha Casa Minha Vida. Uma visita in loco foi realizada na edificação para identificação dos materiais empregados nas paredes externas e na cobertura. Em seguida, foi feita uma avaliação das propriedades térmicas dos materiais utilizados, baseando-se na metodologia de cálculo da Norma Brasileira de desempenho térmico de edificações (NBR 15.220:2005) e classificando esse desempenho de acordo com a Norma Brasileira de desempenho de edificações habitacionais (NBR 15.575), com o auxílio do programa Zoneamento Bioclimático do Brasil (ZBBR), desenvolvido pela UFSC. Utilizou-se o software ZBBR para identificação da zona bioclimática e ainda se obteve recomendações construtivas para a referida zona. Baseando-se na metodologia de cálculo da Norma Brasileira de desempenho térmico de edificações (NBR – 15.220), foram calculadas as propriedades térmicas para as paredes externas e a cobertura da edificação. A partir do ZBBR verificou-se que a cidade de Pau dos Ferros/RN, fica localizada na Zona Bioclimática 7. Das propriedades térmicas analisadas, a transmitância térmica das paredes externas atende ao requisito mínimo da norma, no entanto, a condutividade térmica não atende ao requisito mínimo. Na análise da cobertura da edificação, a transmitância térmica atende aos requisitos mínimos da norma. Apesar desses resultados, verifica-se que não há conforto térmico suficiente já que nem todos os requisitos avaliados são atendidos, o que já se esperava, pois, os habitantes utilizam condicionadores de ar. No entanto, é necessário realizar uma avaliação global para determinar, com maior precisão o desempenho térmico. Portanto, observou-se que é necessário a utilização de materiais e metodologias construtivas mais adequadas e eficientes ao clima do semiárido brasileiro, que proporcionem adequado conforto térmicos aos ocupantes das edificações.

Palavras – Chave: Materiais de construção. Desempenho térmico. Propriedades térmicas.

ABSTRACT

This work was conducted starting from the need to evaluate the thermal performance of building materials used in buildings of social interest in the Rio Grande do Norte semi-arid. The case study was carried out in a building in the city of Pau dos Ferros. The house was built by the federal program, "Minha Casa, Minha Vida". A site visit was held in the building to identify the materials used in the external walls and the roof. Then, an evaluation of the thermal properties of the materials used was made, based on the calculation methodology of the Brazilian Standard thermal building performance (NBR 15220: 2005) and classifying this performance according to Brazilian Standard performance of residential buildings (NBR 15575), with the aid of Bioclimatic Zoning program in Brazil (ZBBR) developed by UFSC. ZBBR used the software to identify the location and bioclimatic still obtained constructive recommendations for this area. Relying on the Brazilian standard method of calculation of thermal performance of buildings (NBR - 15.220), we calculated the thermal properties for the external walls and roof of the building. From the ZBBR found that the city of Pau Irons / RN, is located in zone 7 bioclimatic analyzed the thermal properties, the thermal transmittance of the outer wall meets the minimum requirements of the standard, however, does not meet the thermal conductivity the minimum requirement. In building coverage analysis, thermal transmittance meets the minimum requirements of the standard. Despite these results, it is apparent that there is sufficient thermal comfort since not all assessed requirements are met, which was already expected because the inhabitants use air conditioners. However, it is necessary to conduct a comprehensive assessment to determine more accurately the thermal performance. Therefore, it was observed that the use of materials and construction methods most appropriate and efficient to Brazilian semi-arid climate is necessary to provide suitable thermal comfort to the occupants of buildings.

Key - Words: Building materials. thermal performance. thermal properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Trocas térmicas de uma edificação com seu entorno.....	20
Figura 2.2 – Trocas de calor entre a molécula de ar e a superfície de um corpo.....	21
Figura 2.3 – Infográfico do comportamento da radiação solar incidente em superfícies opacas.....	22
Figura 2.4 – Infográfico das proporções de fluxo de calor da cobertura para o interior da edificação.....	22
Figura 2.5 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	27
Figura 2.6 – Desenho arquitetônico de vedação com camadas não homogêneas.....	29
Figura 2.7 – Comparação da temperatura interna de materiais utilizados em telhados.....	35
Figura 3.1 – Fluxograma das etapas do trabalho.....	35
Figura 3.2 – Mapa político de Pau dos Ferros.....	36
Figura 3.3 – Localização da edificação.....	37
Figura 3.4 – Interface do programa ZBBR.....	38
Figura 3.5 – Avaliação simplificada do desempenho térmico.....	39
Figura 4.1 – Fachada da edificação.....	43
Figura 4.2 – Tijolo cerâmico de oito furos.....	43
Figura 4.3 – Climas do Brasil.....	44
Figura 4.4 – Interface do programa ZBBR.....	45
Figura 4.5 – Vista em perspectiva de uma parede de tijolos de oito furos rebocados em ambas as faces.....	46
Figura 4.6 – Seção 1 e seção 2 no tijolo.....	47
Figura 4.7 – Seções A e B da parede.....	48
Figura 4.8 – Seções A, B e C na parede.....	51
Figura 4.9 – Ilustração da cobertura da edificação.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Valores máximos admitidos para a transmitância térmica de paredes externas..	51
Tabela 4.2 – Capacidade térmica de paredes externas.....	54
Tabela 4.3 – Critérios de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica.....	55
Tabela 4.4 – Áreas mínimas de aberturas de ventilação.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR Norma Brasileira

ZBBR Zoneamento Bioclimático Brasileiro

UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

t_c Temperatura da superfície

t_i Temperatura inicial

T_i Temperatura interna

T_e Temperatura externa

R_{se} Resistência da camada de ar externa

R_{si} Resistência da camada de ar interna

R_t Resistência térmica superfície a superfície

R_T Resistência térmica ambiente a ambiente

A_a Área de cada seção

A_p Área do piso do ambiente

C_T Capacidade térmica

C_{Ta} Capacidade térmica do componente para cada seção

LabEE Laboratório de eficiência energética em edifícios

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

W Walts

K Kelvin

Kj Kilo joule

ρ Densidade de massa aparente

α Absortância

m Metro

m² Metro quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo Geral	18
1.1.2	Objetivos Específicos	18
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	DESEMPENHO TÉRMICO	19
2.2	CONDUÇÃO	20
2.3	CONVECÇÃO	20
2.4	RADIAÇÃO	21
2.5	CONFORTO TÉRMICO	23
2.5.1	Variáveis climáticas	23
2.5.2	Temperatura radiante média	24
2.5.3	Umidade relativa do ar	24
2.5.4	Velocidade e temperatura do ar	25
2.6	NORMAS SOBRE DESEMPENHO	26
2.6.1	Norma Brasileira – Desempenho térmico de edificações (NBR 15.220:2005)	26
2.6.2	Norma Brasileira – Desempenho de edificações habitacionais (NBR 15.575:2013)	28
2.7	PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS	28
2.7.1	Resistência Térmica	29
2.7.2	Transmitância Térmica	30
2.7.3	Capacidade Térmica	31
2.7.4	Atraso Térmico	32
2.7.5	Fator Solar	32
2.7.6	Absortância à radiação solar e emissividade	32
2.8	DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES X MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	VISITA IN LOCO NA EDIFICAÇÃO	36
3.2	CONDIÇÕES BIOCLIMÁTICAS	37
3.3	ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO	38
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	42
4.3	PROPRIEDADES TÉRMICAS	46
4.3.1	Paredes	46

4.3.2	Cobertura	54
4.3.3	Aberturas para ventilação	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICE A	62
	ANEXO A	63
	ANEXO B.....	64

1 INTRODUÇÃO

Para Goulart¹ (1993) apud Bitan (1988) “A influência das condições climáticas sobre as diversas atividades do homem, e seu abrigo, pode ser verificada ao longo do tempo”. É notável que as edificações do passado eram melhor adequadas ao clima do que as atuais edificações. Para Goulart (1993), aonde os locais eram de clima desértico (árido), costumava-se construir edificações muito compactas, com paredes espessas e janelas estreitas. Já em clima quente (semiárido), construíam-se as casas com pátios internos, para os quais todos os cômodos se voltavam. Estes espaços geralmente continham uma fonte, rodeada por um pequeno lago e árvores, criando então, um microclima artificial.

Conforme Guerra e Varella (2013), com a revolução industrial, surgiram outros materiais, como o aço e o concreto armado, isso acarretou transformações nas técnicas de construção que modificaram o quadro da arquitetura. Conforme Lamberts et. al. (1997), o estilo internacional adotado por todo o mundo se iniciou com o arquiteto Le Corbusier, o mesmo lançou ideias como o esqueleto estrutural, a planta livre, os pilotis e o modulator² (sistema de proporcionamento do espaço arquitetônico baseado em critério geométrico, ou seja, sistema de medidas baseada na altura de um homem). Ainda Lamberts et. al. (1997), surgiu as cortinas de vidro, criado por Miles van der Rohe, um verdadeiro ícone de edifícios de escritórios. Seu formalismo foi seguido por várias gerações de profissionais que internacionalizaram o que era distinto para algumas economias. O consequente edifício “estufa” foi então exportado como símbolo de poder, sem sofrer readaptações às características culturais e climáticas do local de destino.

Houve, com o passar do tempo, uma tendência significativa da arquitetura internacional, fazendo com que as edificações fossem reproduzidas em diversas partes do mundo com a mesma tecnologia e materiais. Ignorando assim as variáveis climáticas em favor do modismo e de materiais de construção inadequados com a realidade do local (SOUSA, 2010). Dessa forma, é fundamental que o projetista conheça o clima e a geografia local para desenvolver um projeto arquitetônico adequado. Segundo Frota e Schiffer (2011), atrelado a isso, o mesmo projetista deve verificar e estabelecer uma relação harmoniosa entre os

¹ Goulart, Solange. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis (1993). Página 2.

² Possebon, Ennio. O modulator de Le Corbusier: forma, proporção e medida na arquitetura. Disponível em: http://www.academia.edu/5261229/O_MODULOR_DE_LE_CORBUSIER_FORMA_PROPOR%C3%87%C3%83O_E_MEDIDA_NA_ARQUITETURA_A_A_A_A_A. Acesso em: 20 de maio. 2016.

elementos naturais e as características dos materiais construtivos, fazendo com que o edifício responda de maneira eficiente as variações climáticas da região que está inserido.

De acordo com Bezerra et al. (2003), as sociedades modernas passam por intensas transformações que abrangem a organização social, os modelos econômicos, o desenvolvimento tecnológico, o aproveitamento racional de recursos e o respeito à natureza.

Nesse cenário, a compreensão dos impactos ambientais e a limitação dos recursos naturais, influenciaram as pessoas a reduzir o consumo de energia e a buscar o contato com o externo, a luz diurna e a ventilação natural. O conforto é essencial para proporcionar ambientes saudáveis. E atualmente no contexto internacional, também, há um consenso de que é necessário melhorar a qualidade dos edifícios e reduzir o consumo de energia e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aquecimento global, ou efeito de estufa.

Surgiu então, o conceito de eficiência energética, que segundo Lamberts et. al. (1997), é definido como apenas uma das variáveis inerente à edificação, que representa o potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições com menor consumo de energia.

Em função disso, vale ressaltar a relação entre arquitetura e o homem, para qual Frota (2001, p. 15), esclarece:

A arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto, o que abrange o seu conforto térmico. O homem tem melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido a fadiga ou estresse, inclusive térmico. A arquitetura, como uma de suas funções, deve oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior das habitações, sejam quais forem as condições climáticas externas.

Para regular o desempenho térmico e a eficiência energética das edificações surgiram as normas, as quais existem em alguns países desde a década de 1970. No Brasil, existem duas normas da ABNT, a NBR 15.220:2005 – Desempenho térmico de edificações e a NBR 15.575:2013 – Desempenho de edificações habitacionais. A NBR 15.220:2005 – Desempenho térmico de edificações, consta de cinco partes e trata sobre desempenho térmico e sugere

recomendações técnico-construtivas que visam a otimização do desempenho das edificações, através de sua melhor adequação climática.

Já a NBR 15.575:2013 – Desempenho de edificações habitacionais, consta de seis partes. Nessa norma se estabelece a metodologia de desempenho a que todos os produtos, desde os componentes até os subsistemas que compõem as edificações e a própria edificação como um todo, devem atender para que haja um desempenho, isto é, um comportamento em uso, mínimo, levando em conta determinadas condições de exposição que devem ser identificadas e caracterizadas por quem projeta, fabrica e constrói. Para alguns destes requisitos a norma apresenta, ainda, parâmetros, isto é, critérios de nível intermediário e superior para que, em edificações onde seja desejável e possível, se possa atingir um desempenho além do nível mínimo.

Novas construções refletem o crescente reconhecimento da importância dessas normas. As normas de desempenho definem critérios e requisitos para que as construções sejam baseadas nas características climáticas locais e garantam um desempenho térmico mínimo para uma ocupação com conforto térmico.

A importância do desempenho térmico dos materiais construtivos é retratada por Sorgato (2009) quando fala sobre os fatores que contribuem para um melhor conforto da edificação, primordialmente quando analisados e empregados corretamente, tem-se as propriedades térmicas dos componentes construtivos da envoltória, o sistema de ventilação, o padrão de ocupação e o clima no qual a edificação está inserida. Onde a envoltória do edifício, que separa o ambiente interior do exterior, é determinante no desempenho térmico da edificação. As propriedades térmicas dos materiais e arquitetônicas influenciam significativamente nos fluxos energéticos.

Esse trabalho visa avaliar o desempenho térmico dos materiais usados em uma habitação de interesse social no município de Pau dos Ferros/RN. Essa avaliação é de suma importância, para verificar o conforto térmico da edificação e analisar as possibilidades de redução no consumo de energia devido à sistemas de resfriamento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo principal analisar o desempenho térmico dos materiais empregados na construção de uma habitação de interesse social na cidade de Pau dos Ferros/RN.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar os materiais empregados na edificação;
- Analisar os resultados disponibilizados pelos programas ZBBR – Zoneamento Bioclimático do Brasil – UFSC e atribuir as recomendações dada pela análise desses resultados;
- Calcular e analisar as propriedades térmicas dos materiais utilizados nas paredes e na cobertura da edificação.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho de conclusão de curso possui cinco partes: Introdução, Fundamentação Teórica, Metodologia, Análise e discussão dos resultados e Considerações Finais.

No segundo capítulo foram abordados conceitos básicos sobre desempenho térmico e conforto térmico. São apresentadas as variáveis que influenciam no conforto térmico e as propriedades térmicas que devem ser analisadas para verificação do desempenho térmico.

Na Metodologia, apresenta-se o procedimento realizado para a pesquisa.

No capítulo 4 é apresentado a análise e discussão dos resultados obtidos, de acordo com o programa ZBBR e os cálculos das propriedades térmicas.

No quinto capítulo são apresentadas as considerações finais de acordo com os resultados obtidos correspondentes aos objetivos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 DESEMPENHO TÉRMICO

A ideia de normas de desempenho surgiu na Europa, durante o período de Pós-Guerra, quando, em meio à necessidade emergencial de se reconstruir as cidades, se fez preciso fomentar rapidamente a inovação tecnológica. Mas, para isso, era preciso estabelecer parâmetros claros de desempenho (BLANCO, 2007)³.

Arelado ao desempenho, surgiu o desempenho térmico, o qual, refere-se ao comportamento em uso dos sistemas e subsistemas construtivos e seus componentes, isto é, como se comportam quando submetidos às condições reais de uso a que estarão sujeitos durante sua vida útil.

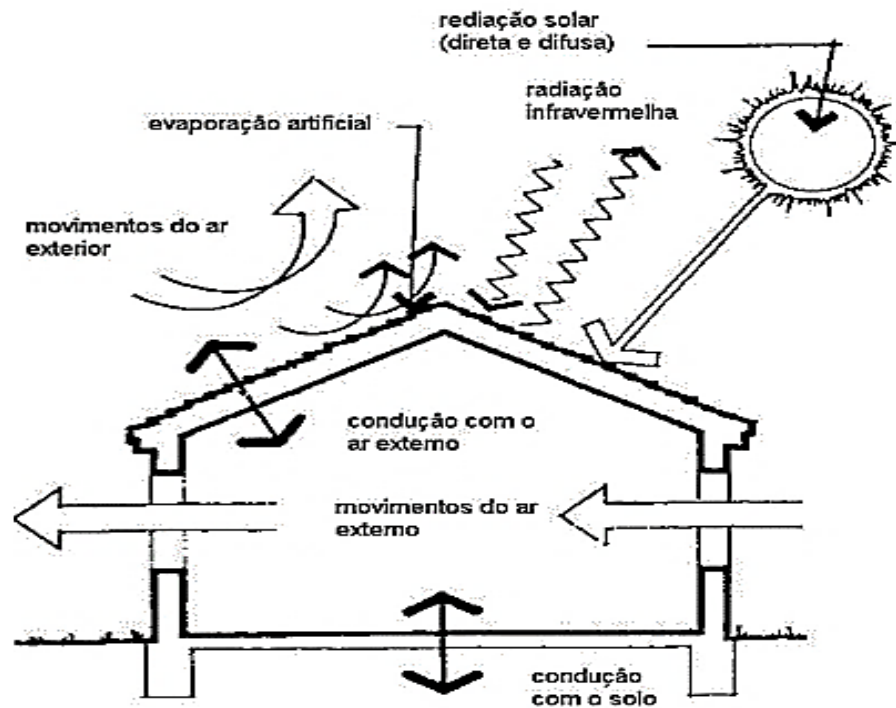
Para atender esses conceitos deve-se compreender o comportamento do ambiente construído, ou seja, as variáveis que influenciam na qualidade desse ambiente. Na Figura 2.1, pode-se observar que há várias maneiras de trocas térmicas que as edificações estão submetidas em relação ao meio em que se inserem.

Conforme Souza (2010), na transferência de calor, um dos principais conceitos envolvidos é a temperatura, que é descrito como o grau de calor contido em um sistema, corpo ou meio fluido, assim a condição para que haja transferência de calor é haver diferença de temperatura entre os corpos (ou parte deles) ou o meio ambiente.

Ainda segundo o autor, havendo diferença de temperatura (ou gradiente de temperatura em um mesmo corpo), haverá fluxo de calor do corpo (ou parte dele) de maior temperatura para aquele de menor temperatura. Essa transferência depende diretamente da diferença de temperatura, à medida que o corpo de menor temperatura se aquece, diminui essa diferença e a velocidade de transmissão se reduz. A troca de calor ocorre por três tipos de mecanismos, que pode agir separadamente ou em conjunto, sendo esta forma a mais comum. São eles: condução, convecção e radiação.

³ BLANCO, Mirian. Como a norma de Desempenho vai disciplinar as relações entre construtores e proprietários. Disponível em: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/74/artigo281497-1.aspx>. Acesso em: 20 de maio. 2016.

Figura 2.1 – Trocas térmicas de uma edificação com seu entorno



Fonte: Camous et al.⁴, 1986 apud Bagnati, 2013.

2.2 CONDUÇÃO

Para Bagnati (2013), na condução o calor é transferido, por meio material, de uma molécula a outra entre corpos diferentes, ou em um mesmo corpo cujas partes estejam com temperaturas diferentes. Os materiais têm diferentes capacidades de condução. O ar, por exemplo, é um mau condutor de calor, enquanto materiais metálicos são bons condutores de calor.

2.3 CONVECÇÃO

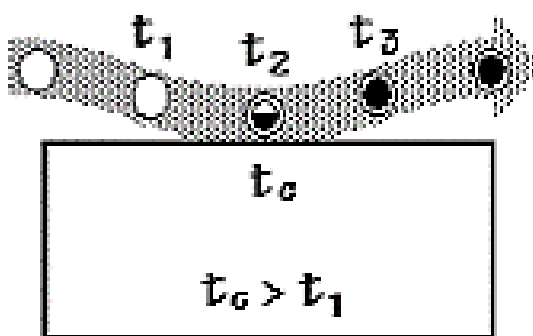
Conforme Roriz (2008), a convecção é a transmissão de calor entre dois corpos fluidos (líquido ou gasoso) ou entre um fluido e um sólido e depende da diferença entre as temperaturas e da existência de movimento relativo entre esses corpos.

Considerando o exemplo de Roriz (2008), no qual uma molécula de ar, que se desloca próxima à superfície de um corpo, como ilustrado na Figura 2.2. Observa-se que em um primeiro momento, que a molécula se encontra à temperatura t_1 , menor que a temperatura da superfície (t_c). Ao tocar o corpo, a molécula irá retirar deste, por condução, certa

⁴ Camous, Roger; Watson, Donald (1986). El habitat bioclimatico. México, Editorial Gustavo Gili, 160 p.

quantidade de calor. Mas, estando em movimento, a molécula aquecida se afastará do corpo, que já estará um pouco mais frio, sendo substituída por outra, também à temperatura t_1 , e assim por diante, enquanto houver diferença da temperatura t_c e t_1 . Sendo que o movimento cessa quando a temperatura de t_c deixar de ser maior que a temperatura de t_1 , igualando assim t_1 e t_c .

Figura 2.2 – Troca de calor entre a molécula de ar e a superfície de um corpo



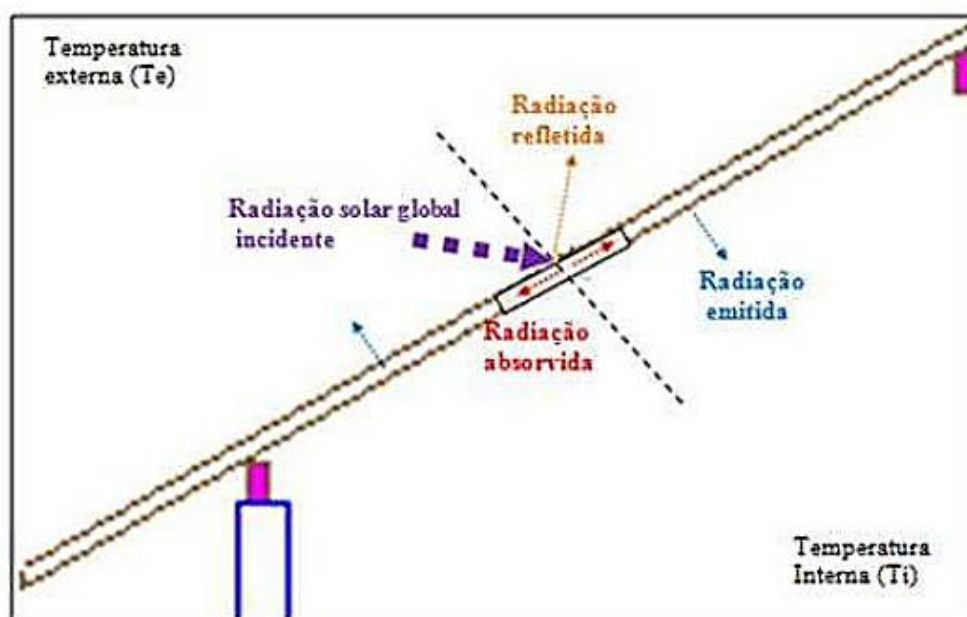
Fonte: Roriz (2008).

2.4 RADIAÇÃO

Segundo Frota e Schiffer (2001), esse mecanismo ocorre entre dois corpos, que possui uma certa distância entre os mesmos e, assim, através de sua capacidade de emitir e de absorver energia térmica. Esse mecanismo de troca é consequência da natureza eletromagnética da energia, que, ao ser absorvida, provoca efeitos térmicos, o que permite sua transmissão sem necessidade de meio para propagação, ocorrendo mesmo no vácuo. Como por exemplo, a radiação solar.

Para Jardim (2011), as trocas térmicas por radiação são mais significantes e, portanto, requer uma abordagem mais profunda. Ao incidir sobre a cobertura, por exemplo, parte da radiação solar é refletida e parte absorvida e reemitida para o interior da edificação, como observado na Figura 2.3.

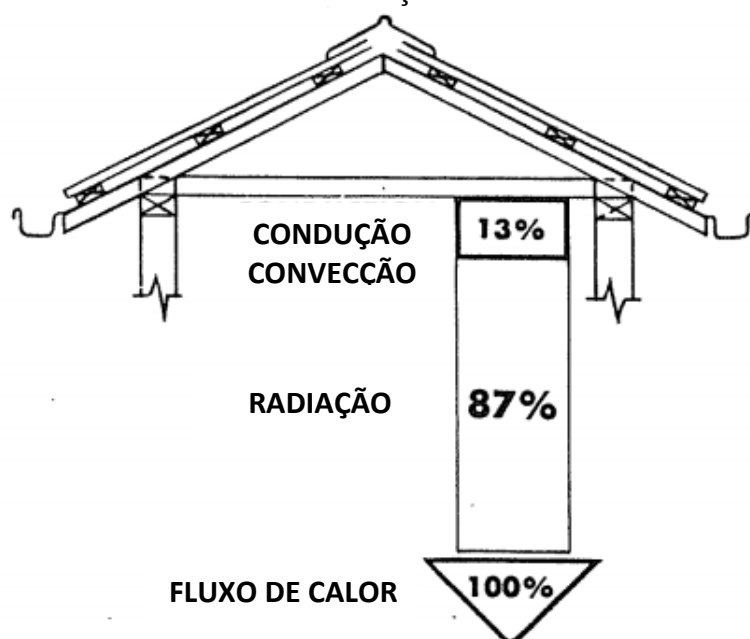
Figura 2.43 – Infográfico do comportamento da radiação solar incidente em superfícies opacas



Fonte: Jardim (2011)

De acordo com Cowan (1973), aproximadamente 87% do calor transferido pela cobertura aos ocupantes, ocorre através do processo de radiação, e somente 13% desse calor são transferidos através de condução e convecção (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Infográfico das proporções de fluxo de calor da cobertura para o interior da edificação



Fonte: Cowan, 1973, adaptada.

2.5 CONFORTO TÉRMICO

Lamberts et al (2008), definiu conforto térmico como sendo a condição da mente que expressa satisfação em se sentir confortável com o ambiente. O conforto térmico está estritamente relacionado ao equilíbrio térmico do corpo humano. Assim, um ambiente confortável termicamente para uma pessoa pode ser desconfortável para outra.

Conforme Ruas (2001), o homem produz, através do processo metabólico, energia interna que é obtida a partir da transformação dos alimentos. Essa energia é consumida na manutenção das funções fisiológicas vitais, na realização de trabalhos mecânicos externos (atividade muscular), e o restante é liberado na forma de calor. A produção de calor é contínua e aumenta com o esforço físico executado, portanto deverá haver uma permanente e imediata eliminação do excesso de calor produzido para que a temperatura do corpo possa ser mantida constante.

O equilíbrio térmico do corpo humano é conservado por um sistema orgânico chamado de termorregulador, onde ações fisiológicas interfere nas trocas térmicas com o ambiente (RUAS, 2001). Ainda, para Ruas (2001, p.17):

Conforto e equilíbrio térmico do corpo humano estão relacionados, na medida em que a sensação de bem-estar térmico depende do grau de atuação do sistema termorregulador para a manutenção do equilíbrio térmico. Isso significa que, quanto maior for o trabalho desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto.

Logo, o conforto térmico depende de variáveis individuais (como, taxa de metabolismo) e das variáveis climáticas (temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade do ar).

2.5.1 Variáveis climáticas

Roriz (2008), compreende como clima o conceito que geralmente é empregado com distintos graus de abrangência, podendo referir-se tanto à vastas regiões do planeta (clima equatorial, clima tropical, etc.) quanto à um ponto específico de um bairro. Mesmo as expressões "macroclima" e "microclima", tentativas de aumentar a precisão do conceito, podem ser ainda excessivamente dúbias para atender a tal objetivo. Um geógrafo pode adotar "microclima" em relação à toda uma cidade enquanto para um biólogo a mesma expressão pode referir-se apenas à uma folha específica de uma árvore. A rigor, dois lugares, mesmo

que próximos, muito raramente possuem climas exatamente iguais, pois os fatores que os determinam geralmente apresentam alguma diferença.

Ainda, segundo Roriz (2008), as temperaturas das regiões centrais das grandes cidades são comumente vários graus acima das registradas nos bairros periféricos. Os diversos ambientes de uma mesma edificação nunca apresentam as mesmas condições de insolação, ventilação, umidade, assim como os demais. O clima é definido como a integração do conjunto de condições atmosféricas típicas de um dado lugar.

Neste contexto, alguns fatores climáticos influenciam no conforto do ambiente construído, são as variáveis climáticas. Estas, conforme Lamberts et al. (1997), “são quantificadas em estações meteorológicas e descrevem as características gerais de uma região em termos de sol, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitações”. Logo, o conhecimento dessas variáveis é essencial para o conforto térmico e consequente consumo eficiente de energia. Das muitas variáveis climáticas, as mais relevantes para o presente trabalho são apresentadas a seguir.

2.5.2 Temperatura radiante média

É a temperatura média à superfície dos elementos que envolvem um espaço, ou seja, é o valor médio entre a radiação térmica que incide sobre as superfícies do local (objetos e seres vivos), e as aquece, e a radiação que elas emitem de volta para o ambiente. Influencia tanto o calor perdido através da radiação do corpo como a perda de calor por condução, quando o corpo está em contato com superfícies mais frias (KAPPAUN, 2012).

2.5.3 Umidade relativa do ar

Segundo Lamberts (1997), o ar pode conter uma determinada quantidade de água, em forma de vapor, dependendo da temperatura. Quanto maior a temperatura do ar, mais água terá no ambiente, por causa da diminuição da densidade. Se essa quantidade de água evaporada é o máximo suportado, diz-se que o ar está saturado. Assim, com qualquer quantidade a mais de vapor de água, ocorre a condensação. Originando assim, fenômenos climáticos, como a névoa, o orvalho e a chuva.

Quando a quantidade de vapor de água está abaixo de sua forma saturada, para aquela temperatura, diz-se que esta proporção (em percentual) é a umidade relativa do ar. A temperatura do ambiente é inversamente proporcional à umidade relativa, explicando o fato

que, em locais com alta umidade, a transmissão de radiação solar é reduzida porque o vapor de água e as nuvens a absorvem e redistribuem na atmosfera, refletindo parte de volta ao espaço. Em locais com ar muito seco, os dias tendem a ser muito quentes e as noites frias, já em locais úmidos, as temperaturas extremas tendem a ser atenuadas. Com isso, o autor faz a relação com o desconforto térmico, o qual pode ser pelo fato que a umidade atua diretamente na capacidade da pele de evaporar o suor, ou seja, quando se tem alta umidade relativa, tem-se mais dificuldade de evaporar o suor, aumentando o desconforto térmico.

2.5.4 Velocidade e temperatura do ar

Primeiramente, a temperatura do ar é a principal variável do conforto térmico. A sensação de conforto baseia-se na perda de calor do corpo pelo diferencial de temperatura entre a pele e o ar, complementada pelos outros mecanismos termorreguladores. O calor é produzido pelo corpo através do metabolismo e suas perdas são menores quando a temperatura do ar está alta ou maiores quando a temperatura está mais baixa. A diferença de temperatura entre dois pontos no ambiente provoca a movimentação do ar, chamada de convecção natural: a parte mais quente torna-se mais leve e sobe enquanto a mais fria, desce, proporcionando uma sensação de resfriamento do ambiente (LAMBERTS et. al., 1997).

Para Lamberts et al. (2011), a temperatura do ar é resultado de um balanço energético onde influenciam:

- a) A radiação do sol que incide e o coeficiente de absorção da superfície que recebe;
- b) A condutividade e a capacidade térmica do solo que determinam a transmissão do calor por condução;
- c) As perdas por radiação, convecção e evaporação.

Já a velocidade do ar, conforme Lamberts et. al. (1997, p.11), comporta-se da seguinte forma:

O ar se desloca pela diferença de temperatura no ambiente, onde o ar quente sobe e o ar frio desce (convecção natural). Quando o ar se desloca por meios mecânicos, como um ventilador, o coeficiente de convecção aumenta, aumentando a sensação de perda de calor (convecção forçada). O deslocamento do ar também aumenta os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência e assim, reduzindo a sensação de calor.

2.6 NORMAS SOBRE DESEMPENHO

Atualmente, muitos países possuem normas ou legislações relacionadas ao desempenho térmico e a eficiência energética de edificações, que ajudam a alcançar uma maior eficiência nas construções (MELO, 2007).

De acordo com Borges (2008), um dos grandes desafios para a utilização de normas de desempenho na construção civil é a tradução das necessidades dos usuários em requisitos e critérios que possam ser mensurados de maneira objetiva. Ainda segundo o autor deve-se considerar determinadas condições de exposição e uso, e que sejam viáveis técnica e economicamente dentro da realidade de cada sociedade.

A necessidade de cumprimento das normas constitui também um estímulo para o seu desenvolvimento, implantação e contínuo aprimoramento. Para Akutsu e Vittorino (1997), as normas quanto ao desempenho térmico de edificações devem atender tanto aos indivíduos como ao coletivo. Para os ocupantes as regulamentações devem ter como objetivo proporcionar conforto nas edificações. Para o coletivo as normas têm o objetivo de: melhorar o emprego do capital em edificações com bom desempenho térmico, reduzir a emissão de poluição liberada pelos equipamentos de condicionamento, diminuir os gastos com construção/manutenção de instalações nas quais há transformação de energia e estimular o uso de fontes de energia renováveis. Portanto, ao nível do indivíduo as normas devem ter como objetivo o conforto dos ocupantes e ao nível coletivo a finalidade deve ser a eficiência energética.

2.6.1 Norma Brasileira – Desempenho térmico de edificações (NBR 15.220:2005)

Em vigor desde 2005, a NBR 15.220:2005 trata especificamente sobre desempenho térmico de edificações e é organizada em cinco partes.

A primeira parte aborda definições, símbolos e unidades. Nesta parte são apresentadas as definições das propriedades térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos, definindo, entre outras, as grandezas da condutividade térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, calor específico, difusividade térmica e atraso térmico.

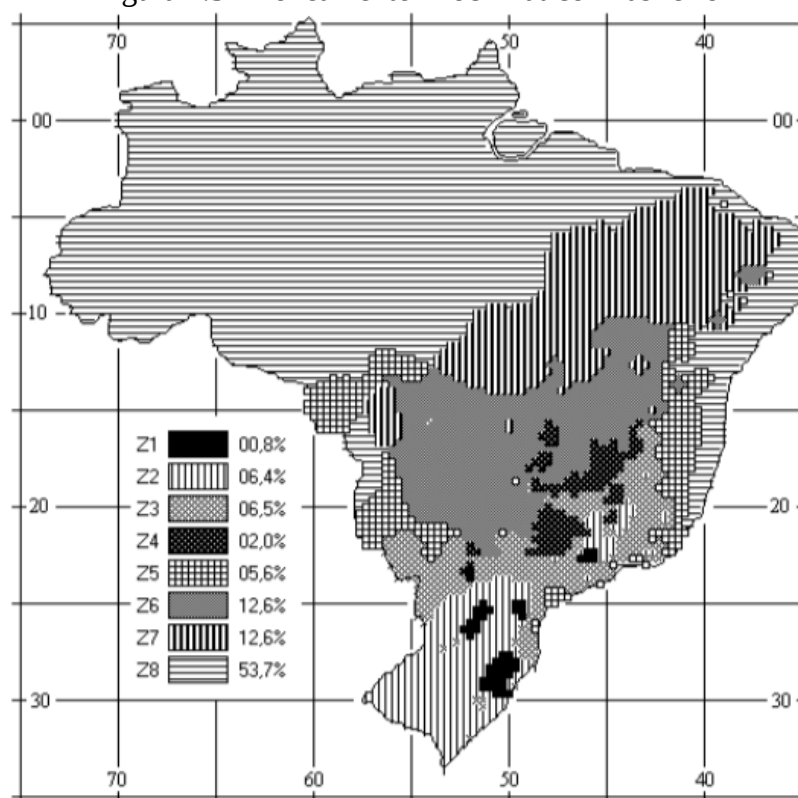
Na segunda parte são encontrados os cálculos necessários para a análise de desempenho térmico das edificações, logo são apresentados os métodos de cálculo da transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para os elementos e componentes das edificações.

A terceira parte trata do zoneamento bioclimático das cidades brasileiras, associado a recomendações e diretrizes para edifícios unifamiliares de interesse social. De acordo com esta classificação, o Brasil foi subdividido em oito zonas, como apresentado na Figura 2.5. As diretrizes construtivas são específicas para cada zona bioclimática e a avaliação é prescritiva, realizada com base na verificação do atendimento de cada parâmetro identificado pela norma.

A quarta e a quinta partes apresentam métodos diferenciados de medição da resistência e da condutividade térmica, pelo princípio da placa quente protegida e pelo método fluximétrico.

O objetivo das recomendações técnico-construtivas é a otimização do desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática. As estratégias de condicionamento ambiental recomendadas pela NBR 15220-3:2005 são baseadas na carta bioclimática de Givoni (1992) e nas planilhas de Mahoney (KOENIGSBERGER⁵, 1977 apud KAPPUAN, 2012, p 43).

Figura 2.5 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: ABNT NBR 15.220-3.

⁵ Koenigsberger, O. H. et al. Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales. Madri: Paraninfo, 1977.

2.6.2 Norma Brasileira – Desempenho de edificações habitacionais (NBR 15.575:2013)

A NBR 15.575:2013 é um conjunto de normas, constituída de seis partes. Essa norma estabelece critérios e métodos de avaliação de desempenho para os principais sistemas que compõem um edifício, abordando temas relacionados a sistemas estruturais, sistemas de pisos internos, sistemas de vedações verticais internas e externas, sistemas de coberturas e sistemas hidros sanitários.

Na referida norma foram instituídos requisitos mínimos de desempenho (Nível M) para os diferentes sistemas. E para alguns critérios foram estabelecidos outros dois níveis de desempenho, intermediário (I) e superior (S).

A norma apresenta os critérios mínimos de desempenho térmico de vedações verticais e cobertura estabelecendo valores admissíveis para transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C) de acordo com a zona bioclimática em que a edificação está inserida. Além disso a norma faz recomendações sobre as aberturas, estabelecendo áreas mínimas de ventilação e sombreamento das janelas.

2.7 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

Sendo a envoltória responsável pelas trocas térmicas entre o meio externo e interno, é importante para o estudo do desempenho térmico o conhecimento das propriedades térmicas dos materiais.

Para Cruz (2002), as recomendações sobre os materiais a serem utilizados na construção de edificações, muitas vezes, tratam apenas de uma das suas propriedades térmicas. No entanto, não é possível basear-se apenas em uma propriedade térmica, de forma independente, uma vez que todo o material combina essas propriedades como uma unidade. Um material isolante (baixa condutividade térmica), por exemplo, também tem determinados valores de densidade e de calor específico que podem diferenciá-lo de outro material, mesmo com condutividade igual.

Logo, conhecer as propriedades térmicas dos materiais é de suma importância, pois permite estabelecer estratégias para que o edifício trabalhe da forma mais eficiente possível de acordo com as variações do clima. Além disso a correta seleção dos materiais construtivos tem papel fundamental para a promoção de um desempenho térmico satisfatório, oferecendo conforto aos usuários dessa edificação (KAPPAUN, 2012).

2.7.1 Resistência Térmica

De acordo com a NBR 15.220-1:2005, a resistência térmica é resultante do quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies (interna e externa) de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário. Para o cálculo da resistência térmica, deve-se considerar as seções (a parte de um componente tomada em toda sua espessura – de uma face à outra – e que contenha apenas resistência térmicas em série) existentes na parede, pois pode haver camadas (uma parte de um componente tomada paralelamente às suas faces e com espessura constante) apenas com tijolo, camadas com tijolo e reboco e outras apenas com argamassa de assentamento. As possibilidades de seções são ilustradas na Figura 2.6, na qual se observa que podem existir seções homogêneas de mesmo material e seções não homogêneas, com materiais diferentes. Por exemplo, na Figura 2.6 a seção Sa e Sc são homogêneas e a seção Sb e Sd são não homogêneas. A resistência é calculada pela Equação 2.1. Conforme a NBR 15220 – Parte 2.

$$R = \frac{e}{\lambda} \text{ (m}^2\text{.K)/W} \quad (2.1)$$

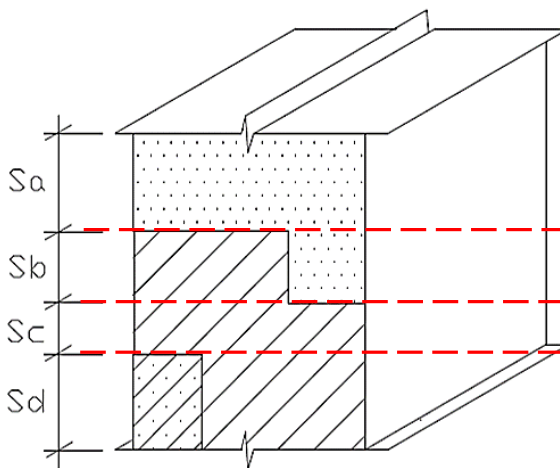
Em que:

R – é a resistência térmica – [(m².K)/W];

e – é a espessura da camada – (m);

λ – é a condutividade térmica do material da camada - [W/(m.K)].

Figura 2.6 - Desenho esquemático de vedação com camadas não homogêneas



Fonte: ABNT NBR 15.220-2:2005, adaptada.

Este cálculo é feito para cada uma das seções das camadas do material, sendo que a resistência de câmaras de ar (R_{ar}) não ventiladas (após a parede construídas, os orifícios do tijolo são vedados com argamassa, fazendo com que se tenha as câmaras de ar não ventiladas, devendo se considerar a resistência do ar, já que esse preenche toda aquela área) é obtida na mesma norma. Assim, após o cálculo das resistências para cada seção, pode ser calculada a resistência térmica superfície a superfície. Considerando a existência de seções com diferentes resistências térmicas ela é determinada pela equação 2.2.

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} ((m^2.K)/W) \quad (2.2)$$

Em que:

$A_a, A_b, \dots, A_n$ – são as áreas de cada seção - (m^2);

$R_a, R_b, \dots, R_n$ – são as resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção - $[(m^2.K)/W]$.

A resistência térmica ambiente a ambiente é dada então pela equação 2.3

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} ((m^2.K)/W) \quad (2.3)$$

Em que:

R_T – é a resistência térmica de ambiente a ambiente - $[(m^2.K)/W]$;

R_t – são as resistências térmicas de superfície à superfície - $[(m^2.K)/W]$, calculada conforme a equação 2.2;

R_{se} e R_{si} – são as resistências superficiais externas e internas - $[(m^2.K)/W]$, cujos valores são encontrados na norma.

2.7.2 Transmitância Térmica

A transmitância térmica também é chamada de coeficiente global de transferência de calor, e é o inverso da resistência térmica total. Está relacionada à espessura do componente e à condutividade térmica dos seus materiais constituintes, e representa sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de energia por unidade de área e de diferença de temperatura (Lamberts et al., 2010). Conforme a equação 2.4, nota-se que a transmitância térmica é o inverso da resistência térmica ambiente a ambiente.

$$U = \frac{1}{R_T} (\text{W/m}^2.\text{K}) \quad (2.4)$$

Em que:

U – Transmitância térmica - $[\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})]$;

R_T – Resistência térmica de ambiente a ambiente - $[(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}]$

2.7.3 Capacidade Térmica

Segundo Callister⁶ (2003) apud Lima (2014), a capacidade térmica é uma propriedade que indica a capacidade que um material tem de absorver calor de fontes externas ao seu redor.

Conforme a NBR 15.220-1:2013, a capacidade térmica é a quantidade de calor imprescindível para variar em uma unidade a temperatura de um sistema. Quanto maior a capacidade térmica dos componentes de uma edificação, maior sua inércia térmica resultando em maior amortecimento das temperaturas internas em relação aos valores correspondentes no ambiente externo (Lamberts et al., 2010).

Primeiro, calcula-se a capacidade térmica de cada seção pela Equação 2.5.

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (2.5)$$

Em que:

λ_i – é a condutividade térmica do material da camada i^a - $[\text{W}/(\text{m}.\text{K})]$;

R_i – é a resistência térmica da camada i^a - $[(\text{m}^2.\text{K}/\text{W})]$;

e_i – é a espessura da camada i^a - $[(\text{m})]$;

c_i – é calor específico do material da camada i^a - $[\text{J}/(\text{kg}.\text{K})]$;

ρ_i – é a densidade de massa aparente do material da camada i^a - $[(\text{Kg}.\text{m}^3)]$.

Como o ar apresenta uma densidade de massa aparente muito baixa ($\rho = 1,2 \text{ Kg/m}^3$), a sua capacidade térmica, em componentes com câmaras de ar, pode ser desprezada. Assim, a determinação da capacidade térmica de um componente é calculada pela Equação 2.6.

⁶ CALLISTER, William. Materials Science and Engineering - An Introduction. 7.ed. York: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

$$C_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \text{ (J/(m}^2\text{.K))} \quad (2.6)$$

Onde:

$A_a, A_b, \dots, A_n$ – são as áreas de cada seção – (m²);

$C_{Ta}, C_{Tb}, \dots, C_{Tn}$ – são as capacidades térmicas do componente para cada seção – [J/(m².K)] , determinada pela equação 2.5.

2.7.4 Atraso Térmico

É o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor, sendo sua unidade dada em h (horas) (NBR 15.220-1, 2005).

2.7.5 Fator Solar

O fator solar é segundo a NBR 15220-1:2005, o “quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo”. Quando se trata de conforto térmico, o objetivo na especificação de um tipo de fechamento é evitar as perdas de calor excessivas no inverno e os ganhos elevados no verão.

2.7.6 Absortância à radiação solar e emissividade

A absortância à radiação solar é, conforme a referida norma “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície”.

Já a emissividade par a norma de desempenho térmico é o “quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura”. Equivale a propriedade que representa a quantidade de energia térmica emitida por unidade de tempo de uma superfície em contato com camada de ar.

Segundo Camargo, Sato e Prado⁷ (2007) apud Jardim (2011), a emissividade depende fortemente da natureza da superfície do material, podendo ser influenciada pelo seu método de fabricação, pelos períodos de aquecimento e resfriamento sofridos pelo material.

2.8 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES X MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

O envelope da edificação é responsável pelas trocas térmicas entre o meio externo e interno. Assim, o conhecimento das propriedades térmicas dos materiais e fechamentos é fundamental para o estudo e entendimento do desempenho térmico de uma edificação

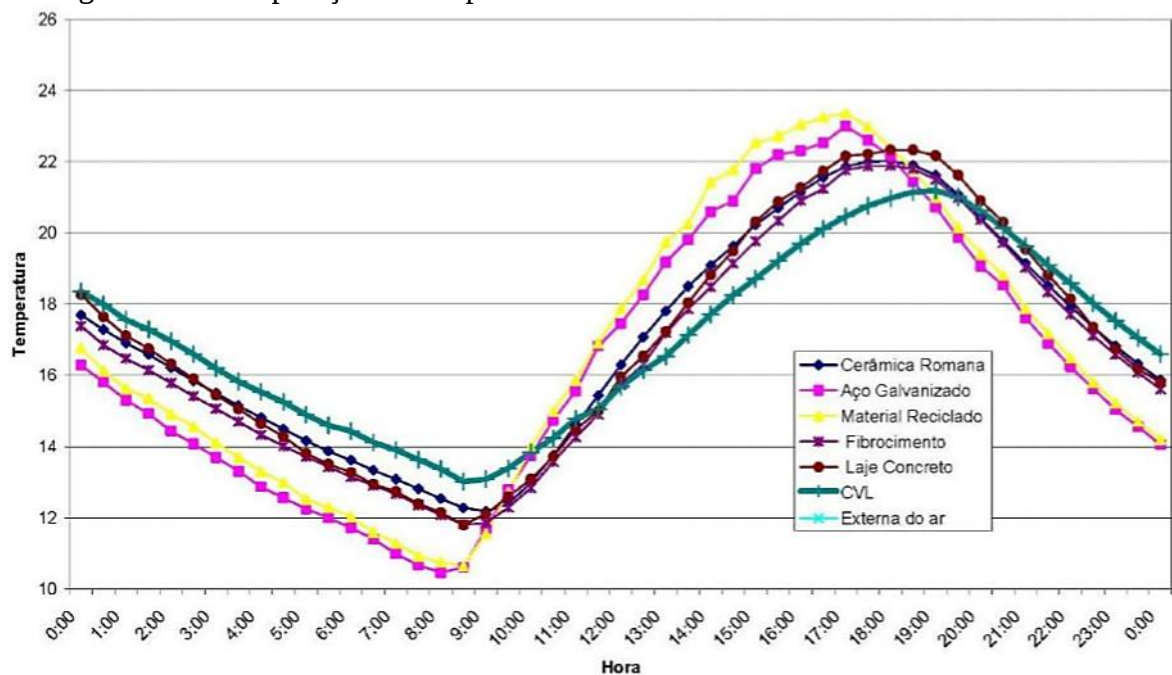
Para Lamberts et al. (1997) o desempenho de um edifício está relacionado com as propriedades dos seus elementos constituintes e suas interações. Suas cargas térmicas podem vir do exterior: determinadas pelas condições climáticas (temperatura, radiação solar e umidade), pelo sítio de implantação, pela forma arquitetônica e pelo seu fechamento (envelope externo), ou do interior: provenientes do metabolismo humano e do uso de equipamentos e processos.

Conforme Mascarenhas (2012), os materiais usados na construção civil armazenam radiação solar e reemitem essa radiação na forma de calor, tornando mais quentes. O acúmulo desse calor durante o dia devido às propriedades de absorção dos materiais utilizados na construção compromete a durabilidade e desgaste dos mesmos reduzindo consequentemente a vida útil da edificação.

Na Figura 2.7 é apresentada uma comparação da temperatura interna de diferentes materiais em telhados. Observa-se que coberturas com materiais reciclados e com aço galvanizado atingiram maiores temperaturas, porém são os materiais que rapidamente se resfriam. Verifica-se que a partir das 18h00min a cobertura com esses materiais diminui de temperatura consideravelmente.

⁷ CAMARGO, M. G. P.; SATO, N. M. N.; PRADO, R.T. A. Estudo comparativo do desempenho térmico de protótipos com e sem utilização de barreiras de radiação na cobertura. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9.; Ouro Preto, 2007.

Figura 2.7 - Comparação da temperatura interna de materiais utilizados em telhados



Fonte: Mascarenhas (2012).

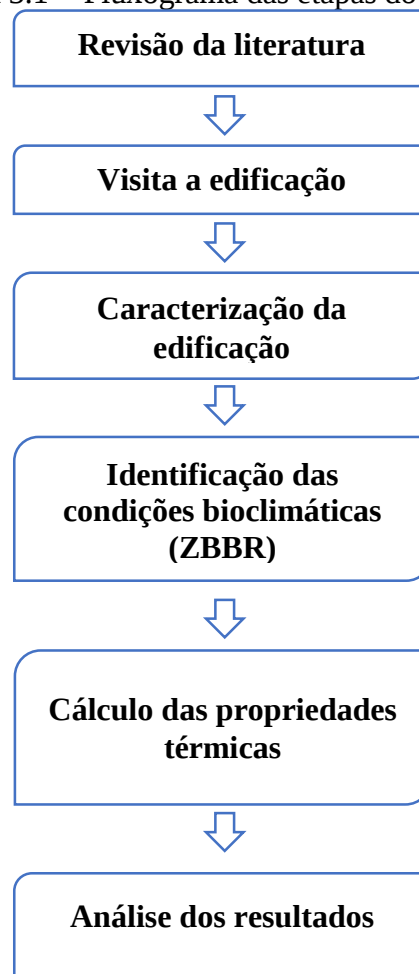
Conforme o Guia Orientativo para atendimento à NBR 15575:2013, o nível de satisfação ou insatisfação depende, do tipo de atividades no interior do imóvel, quantidade de mobília, tipo de vestimentas, número de ocupantes, idade, sexo e condições fisiológicas e psicológicas dos usuários. Dessa forma, quando se trata de conforto térmico, refere-se sempre a uma condição média, que atende à maior parte das pessoas expostas a uma determinada condição.

3 METODOLOGIA

Do ponto de vista da forma de abordagem ao problema, esta foi uma pesquisa experimental, onde estabelece um objeto de estudo e observa as variáveis que influem nos fenômenos, podendo assim detectar as relações causa-efeito entre variáveis e fenômenos. Como também, é uma pesquisa quantitativa, pois considera que tudo é quantificável, o que significa traduzir opiniões e números em informações as quais serão classificadas e analisadas.

A metodologia empregada neste trabalho é apresentada na Figura 3.1. Para o trabalho escolheu-se uma edificação, identificou-se as condições bioclimáticas, em seguida foram realizados os cálculos das propriedades térmicas dos materiais. E a partir dos resultados do programa e das propriedades térmicas analisou-se se os materiais estão adequados ao clima da região e se atende ao desempenho térmico mínimo.

Figura 3.1 - Fluxograma das etapas do trabalho

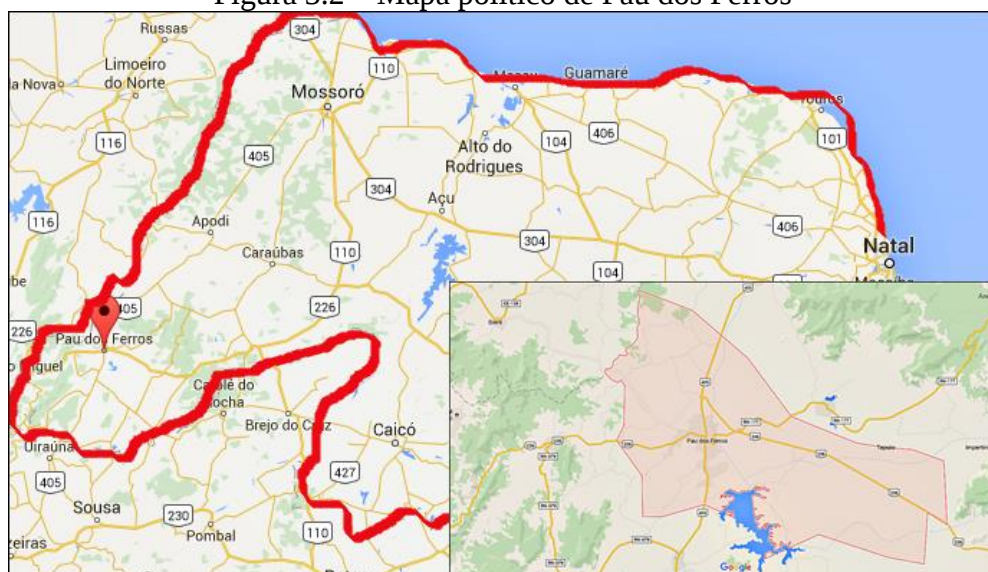


Fonte: Autor.

3.1 VISITA IN LOCO NA EDIFICAÇÃO

A pesquisa foi desenvolvida no município de Pau dos Ferros/RN, o qual pode ser localizado no mapa do Rio Grande do Norte ilustrado na Figura 3.2. O município de Pau dos Ferros situa-se na mesorregião Oeste Potiguar, limitando-se com os municípios de Francisco Dantas, São Francisco do Oeste, Marcelino Vieira, Rafael Fernandes, Antonio Martins, Serrinha dos Pintos e Encanto e com o Estado do Ceará, abrangendo uma área de 277 km², inseridos na folha Pau dos Ferros (SB.24-Z-A-II), na escala 1:100.000, editada pela SUDENE (CPRM, 2005).

Figura 3.2 – Mapa político de Pau dos Ferros



Fonte: Google Maps, adaptada (2016).

Para a realização deste trabalho, escolheu-se uma habitação de interesse social, construída nos parâmetros do programa do governo federal, Minha Casa Minha Vida. A Figura 3.3 ilustra a localização da edificação, com indicação da fachada estudada. Especificamente na Rua Chico Torquato, no bairro Chico Cajá. A edificação é composta de uma suíte, um banheiro, uma sala, um quarto, uma cozinha, uma despensa e uma área de serviço, conforme o Apêndice A.

Figura 3.3 – Localização e orientação da edificação



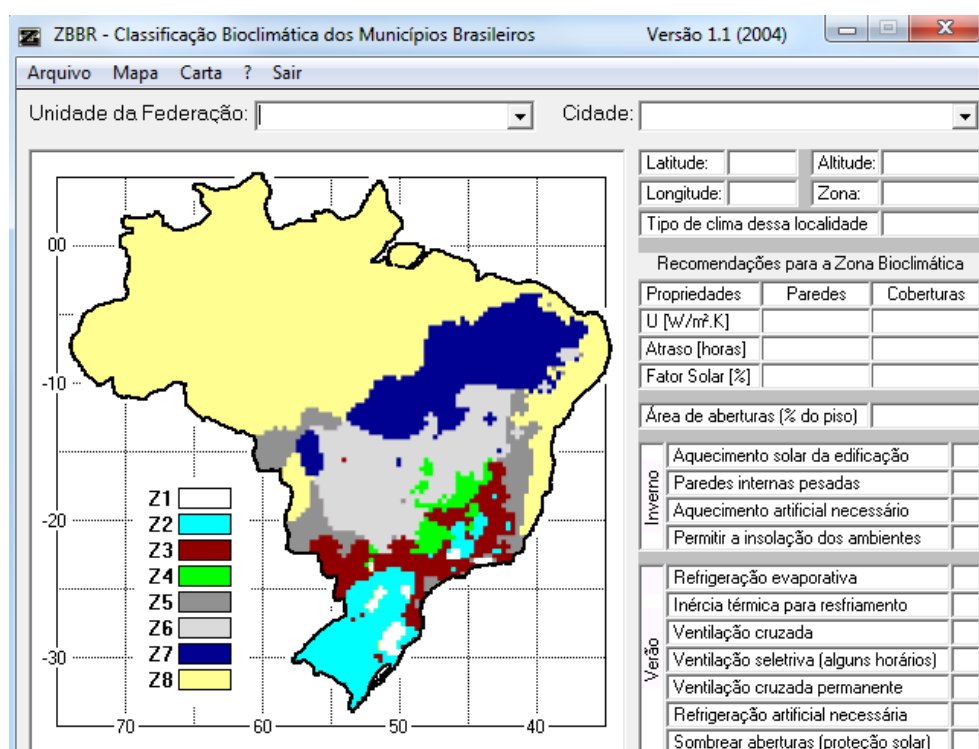
Fonte: Google Maps (2016), adaptada.

3.2 CONDIÇÕES BIOCLIMÁTICAS

Para verificação das condições bioclimáticas foi utilizado o mapa de Zoneamento Bioclimático Brasileiro da NBR 15.220:2005, já apresentado na Figura 2.5. Conforme o mapa, Pau dos Ferros está localizado na zona 7. A partir dessa informação e com os parâmetros da região de estudo foi utilizado também o software ZBBR, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edifícios (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

A Figura 3.4 mostra a interface do software ZBBR (Zoneamento Bioclimático Brasileiro). Através do ZBBR é possível fazer a classificação bioclimática dos municípios brasileiros e obter algumas diretrizes construtivas recomendadas para habitações, conforme a NBR 15220-3:2005. No software como dados de entrada deve-se informar a unidade da Federação (estado) e a cidade. E como dados de saída se têm: a localização geográfica, tipo de clima, zona bioclimática, recomendações para as propriedades termo físicas das paredes e coberturas, área das aberturas para ventilação e as estratégias bioclimáticas para o inverno e verão.

Figura 3.4 – Interface do programa ZBBR



Fonte: ZBBR (2004)

3.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO

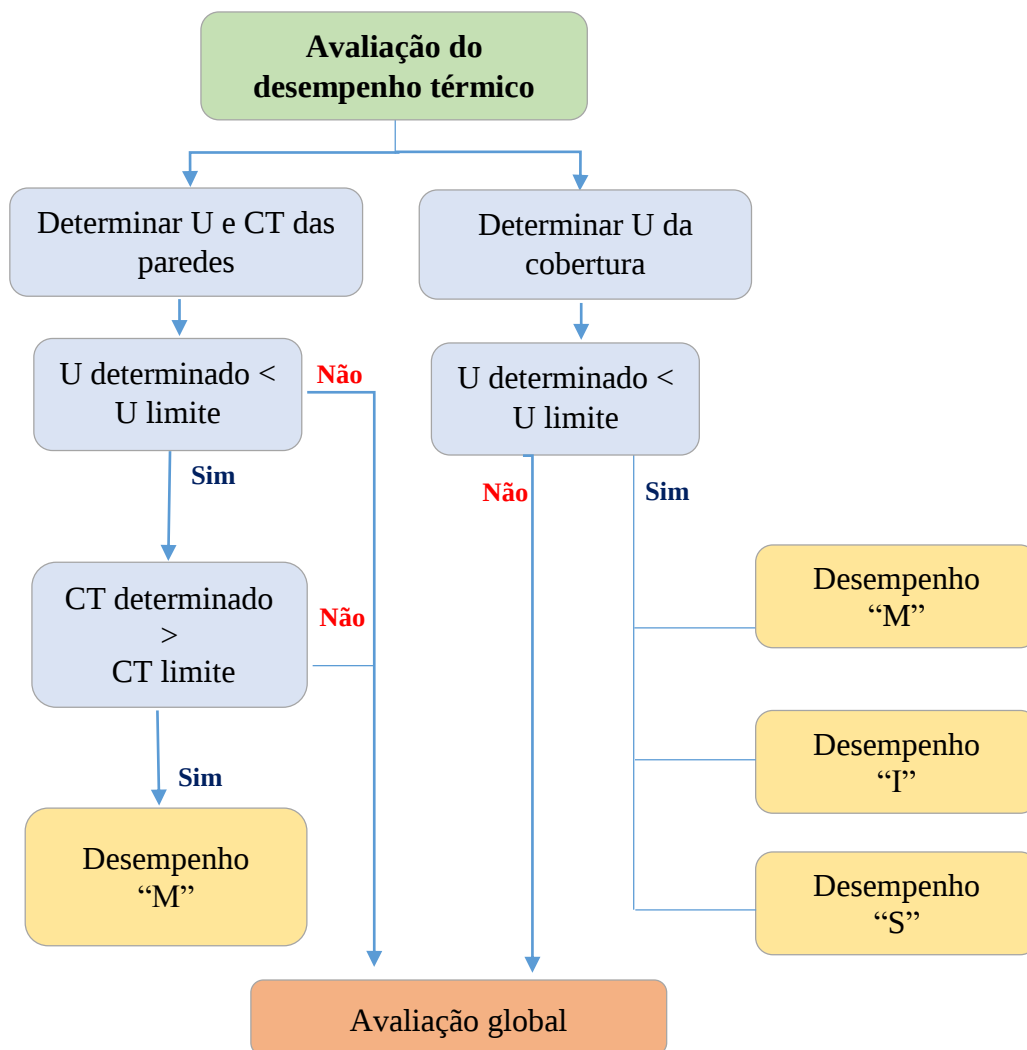
Conforme a NBR 15.575-1:2013, “a edificação habitacional deve congrega propriedades que atendam aos requisitos de desempenho térmico, considerando-se a região de implantação e as respectivas características bioclimáticas definidas na NBR 15220-3:2005.

A NBR 15.575-1:2013, estabelece um procedimento normativo e um procedimento informativo para avaliação da adequação de habitações. Para o estudo foi realizado o procedimento normativo 1 – simplificado, através do qual se verificou se a edificação em estudo atende aos requisitos e critérios de desempenho térmico, com base na transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) das paredes de fachada e das coberturas.

O método utilizado para avaliação do desempenho térmico é ilustrado na Figura 3.5. Nessa avaliação simplificada, as paredes de fachada e a cobertura da edificação habitacional devem reunir características que atendam aos critérios de desempenho registrados na norma NBR 15575-1, considerando-se a zona em que a edificação se localiza, no caso, na zona 7. Para o caso de não atender aos requisitos mínimos especificados na avaliação simplificada deve-se fazer a avaliação global, que não é objeto de estudo deste trabalho.

Assim, foram avaliadas as conformidades e não conformidades do desempenho da edificação em questão, levando em consideração os níveis mínimos (M), intermediários (I) e superiores (S) propostos pela norma.

Figura 3.5 – Avaliação simplificada do desempenho térmico.



Fonte: IPT⁸ 2012, apud CBIC, 2013, Adaptado.

3.3.1 Propriedades térmicas

Foram calculadas as propriedades térmicas para paredes e coberturas da edificação em estudo. As propriedades calculadas foram: resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica. Os cálculos foram realizados utilizando as equações apresentadas no item 2.7 da Revisão da Literatura.

⁸ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT: “Desempenho Térmico e Lumínico de Edifícios Habitacionais - Discussão de Proposta de Normalização”, Eng° Dr. Fulvio Vittorino, 2012.

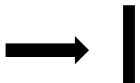
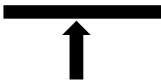
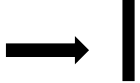
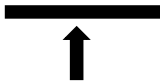
A sequência de cálculo foi a seguinte:

1. resistência térmica;
2. resistência térmica total;
3. transmitância térmica;
4. capacidade térmica da parede;

Para o cálculo da resistência térmica do tijolo: foram consideradas três 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).

Para o cálculo da resistência térmica total tanto das paredes como da cobertura, foram consideradas a resistência superficial externa e interna. A resistência térmica varia de acordo com vários fatores, tais como: emissividade, velocidade do ar sobre a superfície e temperaturas da superfície, do ar e superfícies próximas (NBR 15220-2:2005). Assim, a resistência térmica superficial foi obtida de acordo com a direção do fluxo de calor, conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Resistência térmica superficial interna e externa

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

Fonte: Tabela A.1, página 7 da NBR ABNT 15.220 – parte 2.

Para os cálculos foram utilizados os seguintes parâmetros de acordo com cada material: absorvância térmica, emissividade, densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c). Esses parâmetros foram retirados da NBR 15220-2:2005 e são apresentados no Anexo A e Anexo B deste trabalho.

A edificação deve apresentar ainda aberturas, nas fachadas das habitações, com dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes. Este requisito aplica-se somente aos ambientes de longa permanência: salas, cozinhas e dormitórios. Para esse requisito a recomendação vem da norma 15.575-4, 2013. Os valores mínimos admissíveis estão na tabela 4.4 – Áreas mínimas de abertura para ventilação.

Para esse parâmetro, o cálculo é apresentado dessa forma:

$$A = 100 \times \left(\frac{A_A}{A_P} \right) (\%) \quad (2.7)$$

Em que:

A_A – é a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente.

A_P – é a área de piso do ambiente.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O estudo de caso consiste na análise de uma edificação unifamiliar sobre o ponto de vista térmico utilizando a metodologia de cálculo de parâmetros da NBR 15.220:2005 - Desempenho térmico de edificações. Os cálculos foram realizados para as paredes e cobertura, e verificadas às exigências mínimas de desempenho da NBR 15.575:2013 - Desempenho de edificações habitacionais.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A edificação visitada é constituída de uma sala de estar, uma suíte, um quarto, uma cozinha, uma despensa e uma área de serviço, com pé direito de 2,8 metros. Tem um terreno de 10 metros x 20 metros, onde tem 6,47 metros x 10, 83 metros de área construída, ou seja, aproximadamente 130 metros quadrados de área livre e apenas, 70 metros quadrados de área construída, aproximadamente, conforme Apêndice - A. Os moradores informaram ainda que as paredes foram rebocadas em ambas as faces, assim, sabendo que as paredes têm 15cm e a espessura do tijolo de 8 furos é 9cm, a espessura total do reboco em cada face é 3cm.

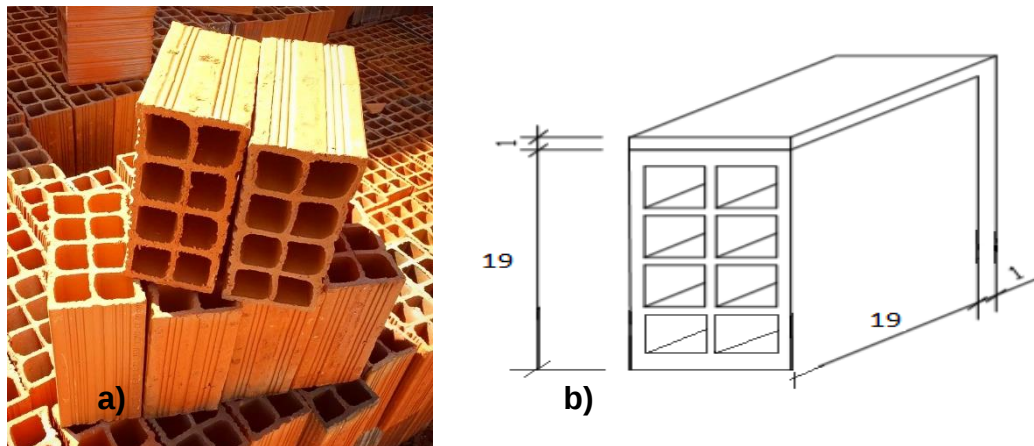
A edificação apresenta apenas fechamento opacos, com uma pintura na fachada de verde clara, conforme Figura 4.1. As vedações verticais externas analisadas são heterogêneas, ou seja, composta por uma camada interna e outra externa de revestimento de argamassa (camada superficial, nesse caso, uma única camada, denominada de emboço paulista ou reboco) de 3,0 cm. A alvenaria é constituída de tijolo cerâmico de oito furos quadrados (Figura 4.2), as dimensões do tijolo são 9,0 cm de largura, por 19,0 cm de comprimento e 19,0 cm de altura. Em cada face interna e externa da alvenaria tem uma camada de argamassa de 3,0 cm.

Figura 4.1 - Fachada da edificação



Fonte: Autor.

Figura 4.2 - Tijolo cerâmico de oito furos



Fonte: (a) Santos, 2016. (b) NBR 15220-2:2005, adaptada.

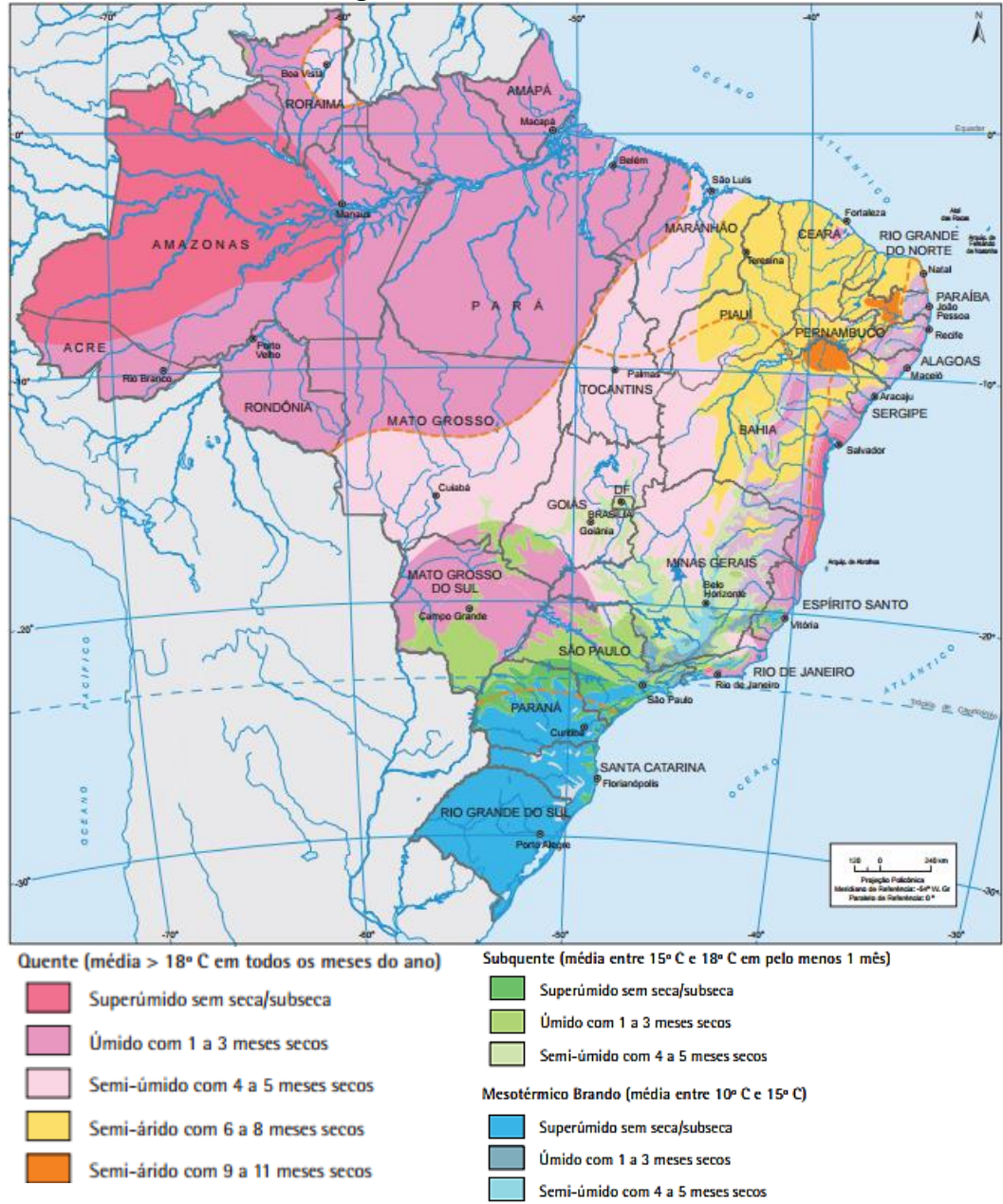
4.2 PARÂMETROS DA REGIÃO DE ESTUDO

Para Nimer⁹ (1979) apud Martins (2012) o Nordeste brasileiro possui uma das climatologias mais complexas do mundo, devido à anormalidade espacial e temporal das chuvas. Como consequência desse fenômeno, é possível encontrar na região Nordeste do Brasil mesorregiões geográficas muito particulares, cujos climas vão do superúmido,

⁹ Nimer, E. (1979): Um modelo metodológico de classificação de climas. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 41, n. 4, p 59-89, out/dez.

característico das zonas litorâneas, até o clima seco, quase desértico do sertão¹⁰, conhecido como o semiárido nordestino (NIMER, 1979 apud Martins 2012). Conforme mostra na Figura 4.3.

Figura 4.3 - Climas do Brasil



Fonte: Nimer, E. (1979)¹¹

¹⁰ O Nordeste está dividido em 4 mesorregiões geográficas: Zona da Mata (litoral), Agreste, Sertão e Meio Norte. O termo “Sertão” é utilizado para designar a região que possui clima tropical semiárido Martins (2012).
¹¹ Nimer, E. Um modelo metodológico de classificação de climas. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 41, n. 4, p. 59-89, out./dez. 1979.

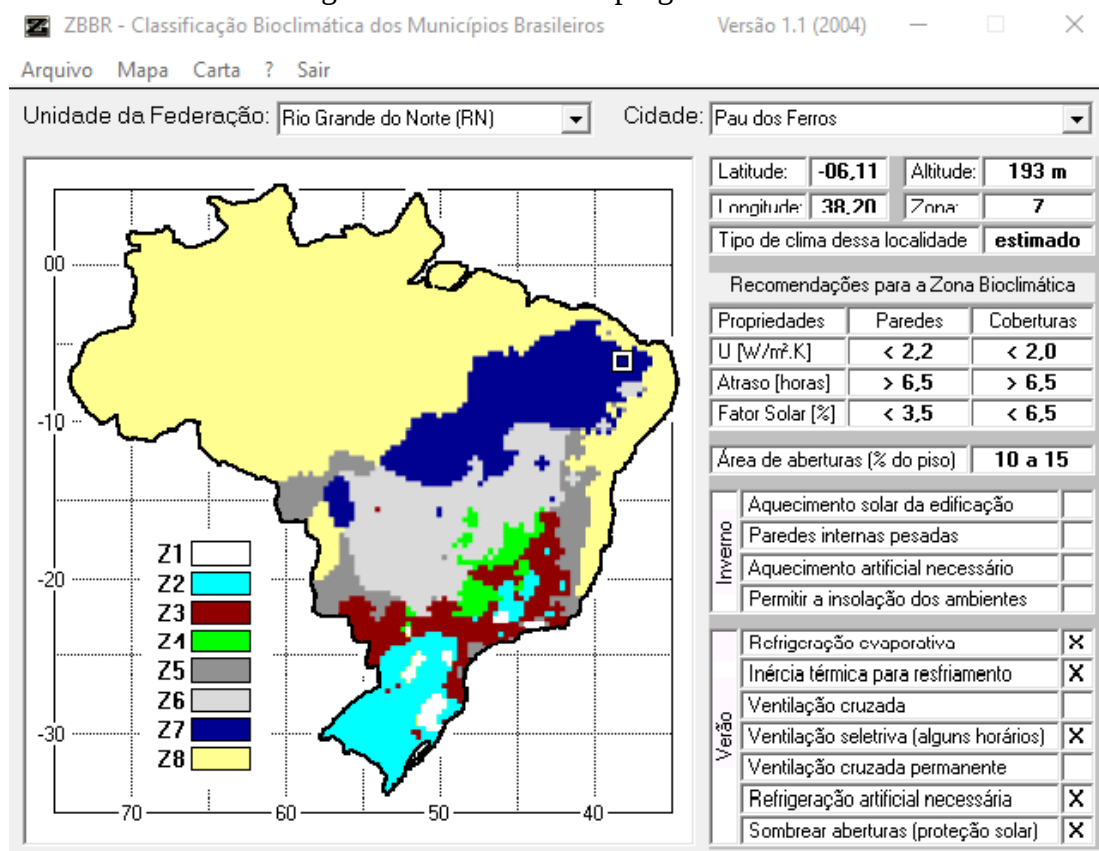
Esse clima, também denominado "quente-seco", apresenta duas estações bem distintas: um longo período de seca e um curto período de chuva, radiação direta intensa e baixo teor de umidade relativa do ar (ROMERO¹², 1988 apud MARTINS, 2012).

Seu clima é tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa adiantando-se para o outono, tendo o período chuvoso entre fevereiro e junho, com temperaturas médias anuais de 28,1°C. Sua umidade relativa anual é de 66%, com 1.200 horas de insolação (CPRM. 2005).

Dos dados inseridos (estado e cidade – Pau dos Ferros) no software ZBBR, resultou nas informações apresentadas na Figura 4.2. Como relatado anteriormente a Zona Bioclimática da cidade de Pau dos Ferros é a 7. Os dados de saída do ZBBR apresentaram que é necessário no verão a utilização de sistema de condicionamento de ar. De acordo com o programa as recomendações para a transmitância térmica para essa zona são:

- a) paredes: $U < 2,2 \text{ W/m}^2.\text{K}$
- b) coberturas: $U < 2,0 \text{ W/m}^2.\text{K}$

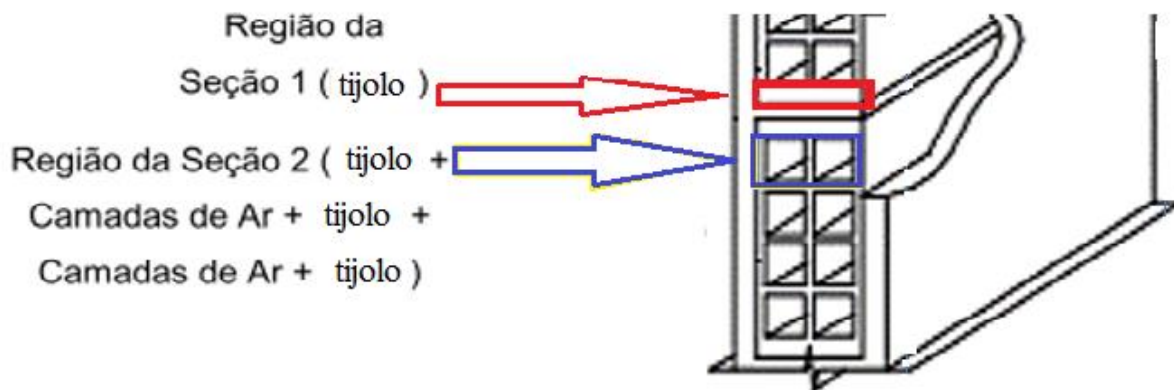
Figura 4.4 - Interface do programa ZBBR



Fonte: Programa ZBBR (2004)

¹² ROMERO, M. A. B. Princípios Bioclimáticos Para o Desenho Urbano. São Paulo: Projeto, 1988.

Figura 4.6 - Seção 1 e seção 2 no tijolo



Fonte: NBR 15.220, adaptada.

- Seção 1 (tijolo)

A área da seção 1 foi calculada considerando a Equação 4.1, que resultou na Equação 4.2.

$$A_1 = \text{espessura horizontal (m)} \times \text{comprimento (m)} = \text{área (m}^2\text{)} \quad (4.1)$$

$$A_1 = 0,01 \times 0,19 \cong 0,0019 \text{ m}^2 \quad (4.2)$$

Para a resistência térmica da seção 1, tem-se que espessura do tijolo cerâmico é 0,09m. E para a condutividade térmica (λ) do tijolo cerâmico, considerando-se a densidade de massa aparente do tijolo, que é entre 1300-1600 (kg/m³), de acordo com o Anexo B, tem-se $\lambda = 0,9 \text{ W/(m.K)}$. Substituindo os valores da espessura e da condutividade térmica do tijolo na Equação 2.1, resultou na Equação 4.3.

$$R_1 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} = \frac{0,09}{0,90} = 0,1(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W} \quad (4.3)$$

- Seção 2 (tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo)

A área da seção 1 foi calculada considerando a Equação 4.4, que resultou na Equação 4.5. A resistência térmica da seção 2 foi calculada de acordo com a Equação 4.6, na qual é necessário saber a espessura e condutividade térmica do tijolo, e ainda a resistência térmica da câmara de ar não ventilada.

$$A_2 = \text{altura da câmara de ar (m)} \times \text{comprimento(m)} = \text{área (m}^2\text{)} \quad (4.4)$$

$$A_2 = 0,035 \times 0,19 \cong 0,0066 \text{ m}^2 \quad (4.5)$$

$$R_2 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} \quad (4.6)$$

Sabe-se que a superfície é de alta emissividade, pois é a fachada que recebe mais raios solares. Sendo, a espessura da câmara de ar é 3cm (Figura 4.3) e a direção do fluxo de calor horizontal. Tem-se de acordo com a Tabela B.1 do Anexo A, que a resistência da câmara de ar é: $R_{ar}=0,16$.

Assim, substituindo os valores na Equação 4.6, obteve-se o resultado apresentado na Equação 4.7.

$$R_2 = \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} \cong 0,3533(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W} \quad (4.7)$$

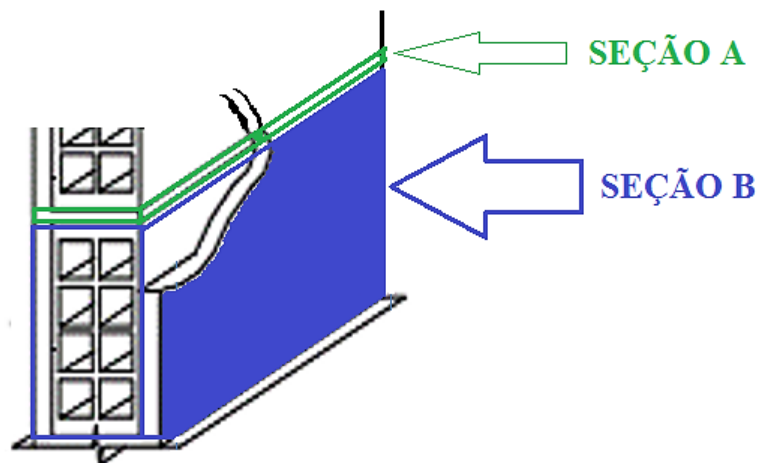
Portanto, substituindo os valores na Equação 2.2, obteve-se a resistência do tijolo, conforme as Equações 4.8 e 4.9.

$$R_{\text{tijolo}} = \frac{5 \times A_1 + 4 \times A_2}{\frac{5 \times A_1}{R_1} + \frac{4 \times A_2}{R_2}} \quad (4.8)$$

$$R_{\text{tijolo}} = \frac{5 \times 0,0019 + 4 \times 0,0066}{\frac{5 \times 0,0019}{0,1} + \frac{4 \times 0,0066}{0,3533}} \cong 0,21(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W} \quad (4.9)$$

Para a resistência térmica da parede, dividiu-se em duas seções: seção A (reboco + argamassa + reboco) e seção B (reboco + tijolo+ reboco). A definição das seções é ilustrada na Figura 4.7.

Figura 4.7 - Seções A e B da parede



Fonte: NBR 15.220, adaptada.

- Seção A (reboco + argamassa + reboco)

A área da seção A foi calculada considerando a Equação 4.10. Os valores foram substituídos na Equação 4.11, o que resultou em uma área de 0,0039m². A resistência térmica da seção A, foi calculada considerando a espessura e condutividade do reboco e da argamassa, conforme, Equação 4.12.

$$A_a = \text{área do emboço (m}^2\text{)} + \text{área da argamassa (m}^2\text{)} \quad (4.10)$$

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,2 = 0,0039 \text{ m}^2 \quad (4.11)$$

$$R_a = \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}} \quad (4.12)$$

Para a condutividade térmica da argamassa ($\lambda_{argamassa}$) e para a condutividade térmica do reboco (λ_{reboco}), como é o mesmo material (argamassa), tem-se a partir da Tabela B.3 do Apêndice A que:

$$\lambda_{argamassa} = \lambda_{reboco} = 1,15 \text{ W/m.K}$$

Assim, substituindo esses valores na Equação 4.12, resultou na resistência térmica da seção A em 0,13(m².K)/W, apresentada na Equação 4.13.

$$R_a = \frac{0,03}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,03}{1,15} \cong 0,13(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W} \quad (4.13)$$

- Seção B (reboco + tijolo + reboco)

A seção B considera o reboco, tijolo e reboco, como apresentado na Figura 4.5. A área dessa seção foi calculada considerando a Equação 4.14, o que resultou na área de 0,036m², como apresentado na Equação 4.15. A resistência térmica da seção B, foi calculada considerando a espessura e condutividade do reboco e a resistência térmica do tijolo (calculada anteriormente), conforme, Equação 4.16. Os valores foram substituídos na Equação 4.17, o que resultou em uma resistência térmica para a seção B de 0,26 (m².K)/W.

$$A_b = \text{altura do tijolo com reboco (m)} \times \text{comprimento do tijolo com reboco (m)} \quad (4.14)$$

$$A_b = 0,19 \times 0,19 = 0,036 \text{ m}^2 \quad (4.15)$$

$$R_b = \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}} + R_{tijolo} + \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}} \quad (4.16)$$

$$R_b = \frac{0,03}{1,15} + 0,2116 + \frac{0,03}{1,15} \cong 0,26(m^2.K)/W \quad (4.17)$$

Portanto, substituindo os resultados de área e resistência térmica de cada seção na Equação 2.2, obteve-se a resistência térmica da parede igual a 0,24 (m².K)/W (Equação 4.18).

$$R_{parede} = \frac{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{\frac{0,0039}{0,1304} + \frac{0,0361}{0,2638}}{\frac{0,0039}{0,1304} + \frac{0,0361}{0,2638}} \cong 0,24(m^2.K)/W \quad (4.18)$$

A resistência térmica total (R_t), foi calculada de acordo com a Equação 2.3, a considerando a resistência térmica superficial interna e externa e a resistência térmica da parede (Equação 4.14).

A resistência térmica superficial interna e externa depende da direção do fluxo de calor na superfície. Para as paredes o fluxo de calor é horizontal, assim, de acordo com a Tabela 3.1, tem-se:

- a) resistência interna (R_{si}) = 0,13 (m².K)/W;
- b) resistência externa (R_{se}) = 0,04 (m².K)/W.

Logo, tem-se que a resistência térmica total para as paredes é de 0,41 (m².K)/W (Equação 4.19).

$$R_T = 0,13 + 0,2398 + 0,04 = 0,41(m^2.K)/W \quad (4.19)$$

Assim, a partir da resistência térmica total foi possível calcular a transmitância térmica (U) para as paredes, substituindo o valor na Equação 2.4. Assim, foi obtida uma transmitância térmica de 2,44 W/ (m².K) (Equação 4.20).

$$U = \frac{1}{0,4098} \cong 2,44 W/(m^2.K) \quad (4.20)$$

Outro parâmetro a calcular é a Capacidade térmica (CT). Primeiramente, calcula-se a capacidade térmica de cada seção pela equação 2.5.

De acordo com os dados do software ZBBR, como relatado anteriormente a recomendação de transmitância térmica para a cidade de Pau dos Ferros é U < 2,2 W/m².K.

Considerando a NBR 15.575-4:2013, para definição do valor máximo de transmitância térmica é necessário conhecer o material aplicado na superfície, e, portanto, sua absorvância térmica. A absorvância é definida de acordo com o material da superfície, como a

cor da fachada da edificação em estudo é verde clara, a absorptância é 0,4 (Anexo A, Tabela B.2). Assim, observando-se a Tabela 4.1, para a zona bioclimática 7, e para absorptância $\leq 0,6$; tem-se que a transmitância térmica (U) deve ser menor que 3,7 W/m².K.

Logo, adotando-se como base os valores da norma a transmitância térmica da parede da fachada frontal atende ao requisito mínimo de desempenho da NBR 1.575-4:2013.

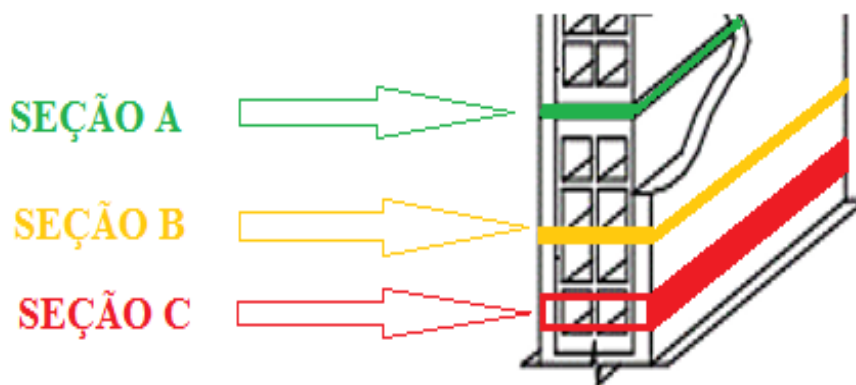
Tabela 4.1 – Valores máximos admitidos para a Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
^a α é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: NBR 15.575-4:2013.

Em seguida realizou-se a verificação da capacidade térmica (CT), para isso, considerou-se 3 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). A divisão das seções é ilustrada na Figura 4.8.

Figura 4.8 - Seções A, B e C na parede



Fonte: NBR 15.220-3, adaptada.

Primeiro foi calculada a área dessa seção (Equação 4.21), considerando a espessura da argamassa e do reboco e o comprimento onde estão aplicados.

Para o cálculo da capacidade térmica da seção A, considerou-se a espessura, o calor específico e a densidade de massa aparente do material em cada camada. Como as camadas para a referida seção é de reboco e argamassa de assentamento, os quais são os mesmos materiais, já que reboco foi executado também com argamassa, tem-se que os referidos valores serão iguais. Assim, substituindo os valores de cada propriedade na Equação 2.5

(melhor detalhada na Equação 4.22), obteve-se a capacidade térmica para a seção A de 300kJ/(m².K) (Equação 4.23).

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,2 = 0,0039 \text{ m}^2 \quad (4.21)$$

$$C_{Ta} = (e.c.\rho)reboco + (e.c.\rho)argamassa + (e.c.\rho)reboco \quad (4.22)$$

Como, $\rho_{reboco} = \rho_{argamassa} = 2000 \text{ Kg/m}^3$, e $c_{reboco} = c_{argamassa} = 1,00 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg.K}}$, conforme Anexo B.

$$C_{Ta} = 0,15 \times 1 \times 2000 = 300 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K}) \quad (4.23)$$

- Seção B (reboco + tijolo + reboco)

Primeiro calculou-se a área da seção (Equação 4.24). Em seguida, para o cálculo da capacidade térmica da seção B, considerou-se a Equação 2.5, a qual envolve a espessura, o calor específico e a densidade de massa aparente do material em cada camada (Equação 4.25).

Como observado na Figura 4.6, essa camada é constituída de reboco e tijolo, as informações sobre as propriedades desses materiais para o cálculo da capacidade térmica foram retirados da Tabela B.3 do Anexo B. Assim, substituindo os valores de cada propriedade na Equação 2.5, obteve-se a capacidade térmica para a seção B de 252,48kJ/(m².K) (Equação 4.26).

$$A_b = 0,01 \times 0,19 = 0,0019 \text{ m}^2 \quad (4.24)$$

$$C_{Tb} = (e.c.\rho)reboco + (e.c.\rho)tijolo + (e.c.\rho)reboco \quad (4.25)$$

$$C_{Tb} = 0,03 \times 1 \times 2000 + 0,09 \times 0,92 \times 1600 + 0,03 \times 1 \times 2000 = 252,48 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K}) \quad (4.26)$$

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

A seção C, como ilustrado na Figura 4.6 é constituída de reboco, tijolo e câmara de ar. Assim como nas outras seções também foi calculada a área da referida seção (Equação 4.27).

Para o cálculo da capacidade térmica foi empregada a Equação 2.5. As propriedades dos materiais da seção (Equação 4.28) foram retiradas da Tabela B.3 Anexo B.

$$A_c = 0,035 \times 0,19 = 0,00665 \text{ m}^2 \quad (4.27)$$

$$C_{Tc} = (e.c.\rho)reboco + (e.c.\rho)cerâmica + (e.c.\rho)ar + (e.c.\rho)cerâmica + (e.c.\rho)ar + (e.c.\rho)cerâmica + reboco \quad (4.28)$$

Assim, considerando que $(e.c.\rho)ar = 0$, obteve-se a capacidade térmica de 164,16kJ/(m².K) (Equação 4.29).

$$C_{Tc} = 0,06 \times 1 \times 2000 + 0,03 \times 0,92 \times 1600 = 164,16 \text{ kJ}/(m^2.K) \quad (4.29)$$

Os valores de capacidade térmica e área de cada seção foram substituídos na Equação 2.6. A área da seção B foi multiplicada por 5, pois como pode-se observar na Figura 4.6, o tijolo de 8 furos tem 5 partes constituídas de reboco + tijolo + reboco. Assim, obteve-se a capacidade térmica (CT) para as paredes de 125,25kJ/(m².K) (Equação 4.30).

$$C_T = \frac{A_a + 5x A_b + 4x A_c}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{5x A_b}{C_{Tb}} + \frac{4x A_c}{C_{Tc}}} = \frac{0,0039 + 5x0,0019 + 4x0,00665}{\frac{0,0039}{300} + \frac{5x0,0019}{252,48} + \frac{4x0,00665}{164,16}} = 125,25 \text{ KJ}/(m^2.K) \quad (4.30)$$

De acordo com a NBR 15.575-4:2013, observando-se a Tabela 4.2, verifica-se que para zona bioclimática 7 a condutividade térmica de paredes externas deve ser maior do que 130kJ/(m².K). Como o valor obtido para a capacidade térmica das paredes externas da edificação em estudo foi de 125,25kJ/(m².K), significa que a condutividade térmica dessas paredes não atende o desempenho mínimo especificado na referida norma. Como não foi atendido o desempenho mínimo seria necessário realizar uma avaliação global.

Tabela 4.2 – Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT)	
kJ / m².K	
Zona 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: NBR 15.575-4:2013

Como relatado anteriormente, segundo Callister¹³ (2003) apud Lima (2014), a capacidade térmica diz respeito à capacidade do material absorver calor de fontes externas ao

¹³ CALLISTER, William. Materials Science and Engineering - An Introduction. 7.ed. York: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

seu redor. Conforme Santos (2006), a capacidade de uma superfície de emitir ou absorver radiação está relacionada à sua emissividade. Como exposto na revisão da literatura, de acordo com Camargo, Sato e Prado (2007), a emissividade depende da natureza do material, consequentemente ela depende do método de fabricação do material. Logo, o mesmo material pode apresentar diferenças em relação a essas propriedades.

Além disso, a grandeza que mede a capacidade de um material conduzir calor é a condutividade térmica, a qual segundo Callister (2008) aumenta em temperaturas elevadas devido a transferência de calor por radiação. Como, a quantidade de poros influencia na condutividade térmica, pois quanto maior a porosidade menor a condutividade, pois segundo Callister (2008) a propagação de calor através dos poros é muito lenta e ineficiente.

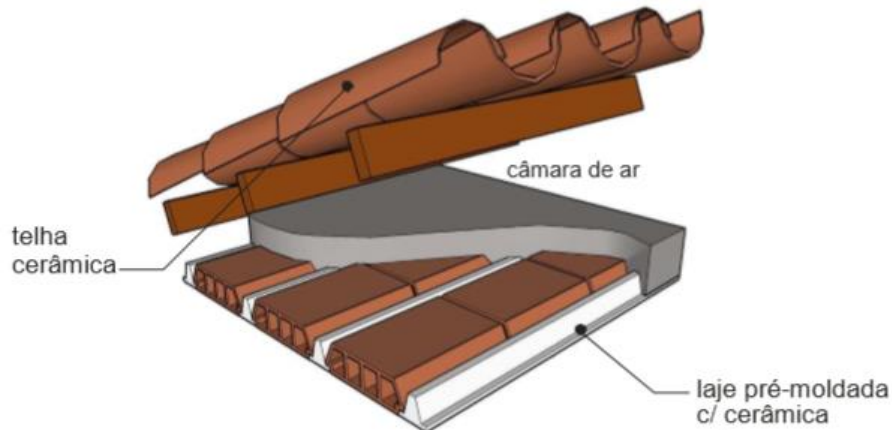
Neste sentido, o emprego de materiais mais porosos, desde que atendam aos requisitos de durabilidade proporcionariam melhores condições de conforto. Portanto, o uso de métodos construtivos mais eficientes, adequados ao clima e às exigências de conforto dos ocupantes, é de suma importância. Conforme Batista (2006), na utilização dessas metodologias construtivas deve-se atentar para o desempenho térmico para proporcionar o conforto térmico deve ter mais relevância.

4.3.2 Cobertura

Para Constantino (2010), a cobertura de um edifício tem uma contribuição decisiva para o conforto e o abrigo que o espaço interior deve proporcionar. Um dos fatores que influenciam para estas funções da cobertura é o isolamento térmico. A necessidade de isolar termicamente a cobertura de um edifício se torna particularmente evidente ao se verificar que a cobertura, de todos os elementos da envolvente, é aquele que se encontra mais exposto, tanto no Inverno (estação de aquecimento), como especialmente no Verão (estação de arrefecimento).

A composição da cobertura da edificação visitada é de telha cerâmica, com laje mista, conforme a Figura 4.9.

Figura 4.9 - Ilustração da cobertura da edificação



Fonte: Catálogo de propriedades térmicas de paredes e cobertura, (2011)

Para a cobertura a edificação deve apresentar transmitância térmica e absorptância à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática, de acordo com a Tabela 4.3. E ainda, deve-se considerar o fluxo de calor descendente, conforme Tabela 3.1.

Tabela 4.3 – Critérios de desempenho de coberturas quanto à Transmitância térmica

Transmitância térmica ¹⁾ (U) W/m ² K	
Zonas 1 a 7	Zona 8 ²⁾
U ≤ 2,30	U ≤ 2,30 FV

Fonte: NBR 15.575-5:2013

A resistência térmica foi calculada empregando a Equação 2.1, fazendo o somatório das camadas. De acordo com o Anexo B, a condutividade térmica dos materiais (λ), substituindo na Equação 4.31, obtém-se a resistência das camadas, com a seguinte composição: telha cerâmica, madeira pinus, ar (>5cm), laje pré-moldada.

$$R_t = \frac{0,01}{0,90} + \frac{0,01}{0,15} + R_{ar} (0,21) + \frac{0,2}{1,75} = 0,4020(m^2.K)/W \quad (4.31)$$

Em seguida, calculou-se a resistência térmica de ambiente a ambiente, considerando, então as resistências das camadas de ar interna e externa, conforme Tabela 3.1 (Equação 4.32).

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \quad (4.32)$$

A Equação 4.33 indica a resistência térmica da cobertura de $0,612 (m^2.K)/W$. No caso, das coberturas, não se avalia a capacidade térmica, e sim, apenas a transmitância térmica. Assim, substituindo-se os valores na Equação 2.4, obteve-se a transmitância térmica de $1,63 W/(m^2.K)$ (Equação 4.34).

$$R_T = 0,17 + 0,4020 + 0,04 = 0,612 (m^2.K)/W \quad (4.33)$$

$$U = \frac{1}{0,612} \cong 1,63 W/(m^2.K) \quad (4.34)$$

Para o programa ZBBR, que tem como parâmetro para cobertura, transmitância $U < 2$, a cobertura está adequada a zona bioclimática. Verificando a Tabela 4.3, a NBR 15575-5 (20013), defini para zona bioclimática 7 transmitância térmica $U \leq 2,30$. Portanto, a cobertura da edificação estudada atende ao desempenho mínimo.

4.3.3 Aberturas para ventilação

Segundo a NBR-15.575, a edificação deve apresentar aberturas, nas fachadas das habitações, com dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes. Este requisito aplica-se somente aos ambientes de longa permanência: salas, cozinhas e dormitórios. A Tabela 4.4 apresenta as áreas mínimas de aberturas para ventilação, fornecido em porcentagem.

Tabela 4.4 – Áreas mínimas de aberturas de ventilação

Nível de desempenho	Aberturas para Ventilação A		
	% da área do piso ⁽¹⁾		
	Zonas 1 a 6 Aberturas médias	Zona 7 Aberturas pequenas	Zona 8 Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 8$	$A \geq 5$	$A \geq 15$
¹⁾ Nas zonas 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.			

Fonte: NBR 15.575-4, 2013.

Para o requisito de ventilação de ambientes de longa permanência foram analisadas a cozinha e a sala. Calculou-se, primeiramente a área de piso do ambiente. Para a cozinha verificou-se que tem uma área de aproximadamente, $12,4 m^2$ (Equação 4.35).

$$A_p = 3,7(m) \times 3,35(m) \cong 12,4 m^2 \quad (4.35)$$

Na cozinha possui uma esquadria (1,00x1,20m), consideradas no cálculo, obtendo-se uma área de 1,2 metros quadrados. Na Equação 4.36, apresenta o cálculo para a área efetiva de ventilação cozinha, ou seja, a área das aberturas, nesse caso, que permitem a livre circulação do ar. Esse cálculo não considera as áreas de portas internas.

$$A = 100 \times \left(\frac{1,2}{12,4} \right) \cong 9,68 \% \quad (4.36)$$

O cálculo para sala é o mesmo da Equação 4.35, onde se calcula a área do piso do ambiente, conforme o Apêndice A. Nesse caso, a sala apresenta uma área menor, em relação à cozinha (Equação 4.37)

$$A_p = 3(m) \times 3,5(m) \cong 10,5 m^2 \quad (4.37)$$

E a esquadria com dimensões, foi considerada a metade da área, pois ela só tem uma abertura disponível, a outra metade está impossibilitada, devido a presença de um móvel, localizado nesse mesmo local. Logo, obteve-se para área de ventilação da sala 5,7% (Equação 4.38).

$$A = 100 \times \left(\frac{0,6}{10,5} \right) \cong 5,7 \% \quad (4.38)$$

A ABNT NBR 15.575 exige que a edificação localizada na zona bioclimática 7, conforme a Tabela 4.4, tenham aberturas pequenas, $A \geq 5\%$. Portanto, tanto a sala como a cozinha, que possuem, respectivamente, 5,7% e 9,68%, atendem ao requisito de abertura de ventilação da NBR 15575-4:2013.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentou uma avaliação do desempenho térmico de uma habitação de interesse social. Tal iniciativa é justificada pela necessidade do usuário ter garantido níveis mínimos de desempenho da unidade que recebe, já que após os anos 2000 houve grande expansão do setor imobiliário culminando em uma queda de qualidade das edificações construídas a partir deste período.

Verificou-se que na edificação estudada não houve preocupação nenhuma com o conforto térmico, apesar que, em relação a transmitância térmica, tanto as paredes, como a cobertura, estão conforme a norma. No entanto, em relação a capacidade térmica, a parede externa, não se encontra conforme os parâmetros da norma. A transmitância térmica das paredes externas e da cobertura apresentaram uma capacidade de conduzir pouca quantidade de energia por unidade de área e de diferença de temperatura, conforme os cálculos, sendo assim, classificado com o desempenho mínimo, que é o obrigatório.

Para a capacidade térmica, as paredes externas não atende o requisito de desempenho mínimo. Se apenas uma propriedade térmica não atender a norma, implica em dizer que necessita de uma avaliação global, pois não atende aos requisitos mínimos para propiciar um conforto térmico bom para os ocupantes.

Outro ponto a ser considerado é o fato de as informações necessárias para a obtenção dos parâmetros para comparação dos níveis mínimos da NBR 15.575 não estarem consolidadas em um único documento. A norma faz sempre referência à outras normas, como a NBR 15.220, dispersando as informações e dificultando a utilização do documento.

Por fim, sugere-se a realização de outros estudos sobre desempenho térmico em edificações com propriedades de materiais e sistema construtivos diferentes do estudo. Outro possível estudo é a medição in loco para conferência dos parâmetros calculados, verificando a eficácia do que é proposto pela NBR 15.575:2013 e se realmente atende as necessidades de conforto do usuário.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: Moderna, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro: Moderna, 2013.
- AKUTSU, M.; VITTORINO, F. **A tendência atual dos métodos de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4. 1997, Salvador. Anais...Salvador, 1997.
- BAGNATI, Mariana Moura. **Zoneamento Bioclimático e arquitetura brasileira: Qualidade do ambiente construído**. 2013. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- BATISTA, Juliana Oliveira. **A arquitetura e seu desempenho térmico no contexto do semi-árido alagoano**: Estudo de caso em Santana do Ipanema - AL. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- BEZERRA, L. A. C.; GURGEL, T. L.; MENDES, J. U. L.; MARINHO, G. S. **Desempenho térmico de parede com bloco de concreto leve**. In: Simpósio de desempenho térmico de sistemas construtivos alternativos. Natal-RN, 06 a 08 de agosto, 2003a, Anais ... 1 CD-ROM.
- BITAN, A. (1988). **The methodology of applied climatology in planning and building**. Energy and buildings. 11, p. 1310.
- BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. São Paulo: EPUSP, 2008.
- CONSTANTINO, Pedro Filipe Delgado. Avaliação da eficiência energético de uma residência unifamiliar em diferentes zonas climáticas de Portugal pelo RCCTE. 2010. 120 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- COWAN, H. J. (1973). **Reflective Insulation and the Control of Thermal Environments**. Sydney: St Regis-Aci Pty.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Pau dos Ferros, estado do Rio Grande do Norte / Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Saulo de Tarso Monteiro Pires, Dunaldson Eliezer Guedes Alcoforado da Rocha, Valdecílio Galvão o Duarte de Carvalho. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 11 p.
- CRUZ, E. M. G.. **Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática**. Estudios de Arquitectura Bioclimática. México: Anuário 2002.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 241 p.

GIVONI, B. **Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines**. Rev. Energy and Buildings: v. 18, n. 1, p. 11-23, Lausanne.

GONZÁLEZ C. E. M. **Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática**. Estudios de Arquitectura Bioclimática. México: Anuário 2002.

GOULART, Solange V. G.. **Dados climáticos para a avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. 1993. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

GUERRA, M. I. S. e VARELLA, F. K. O. M.. **Análise do desempenho térmico de um sistema de aquecimento solar de baixo custo na cidade de Mossoró (RN)**. HOLOS, Ano 30, Vol. 4. DOI: 10.15628/holos.2014.1266. Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas (DCAT) – Universidade Federal Rural do Semiárido Artigo submetido em fevereiro/2013 e aceito em março/2014.

JARDIM, Patrícia Rafaella Salgado Abreu. **Desempenho térmico de coberturas: um estudo comparativo entre as telhas de material reciclado, de fibra e betume, fibrocimento e cerâmica**. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

KAPPAUN, Kamila. **Avaliação do desempenho termico em edificações de blocos estruturais cerâmicos e de blocos estruturais de concreto para a zona bioclimática 2 brasileira**. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

KIET, Allen Lau; SALLEH, Elias; HAW, Lim Chin. **Thermal performance evaluation of roofing systems and materials in Malaysian residential development**. In: SENVAR + ISESEE, Humanity + Technology, Elsevier, 2008.

KOENIGSBERGER, O. H. et al. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madri: Paraninfo, 1977.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na Arquitetura**. São Paulo: P.W., 1997.

LAMBERTS, R. XAVIER, A. A. GOULART, S. VECCHI, R. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: LABEEE/UFSC, 2011.

LAMBERTS, R. ENEDIR G. PEREIRA, C. D. BATISTA, J. O. **Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico**. Florianópolis: UFSC/LabEEE; 2010. Vol. 1.

LIMA, Tomás Bastos. **Análise de desempenho térmico de edificações habitacionais: desenvolvimento de interface BIM para avaliações automatizadas segundo as normas ABNT NBR 15.575 e ABNT NBR 15.220**.

2014. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MASCARENHAS, Gabriela Corrêa Brasil. **Comparação de desempenho térmico de materiais convencionais x com materiais de características sustentáveis em uma edificação.** 2012. 50 f.

MELO, Ana Paula. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

RORIZ, Maurício. **Apostila da disciplina: Conforto e desempenho térmico de edificações.** Universidade Federal de São Carlos, São Carlos (SP) 2008.

RUAS, Álvaro César. **Avaliação de Conforto Térmico: Contribuição à aplicação prática das normas internacionais.** 2001. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

SANTOS, Éden Malveira dos. **Geração de resíduos em indústrias de cerâmica vermelha em Morada Nova/CE.** 2016. 57 f. Monografia (Especialização) - Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2016.

SANTOS, D. O.. **Estudo da utilização de poços para captação de água no município de Pau dos Ferros/RN.** 2016. Monografia – Bacharelado em Ciência e tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

SANTOS, L.. 2006, 129f. Termografia infravermelha em subestações de alta tensão desabrigadas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.

SORGATO, Marcio José. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente** [dissertação] -Florianópolis, SC, 2009. 216 p.

SOUZA, M. F. **Estudo numérico do isolamento térmico de painéis do sistema Light Steel Framing em situação de incêndio.** 2010. 173 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – PPGCC, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

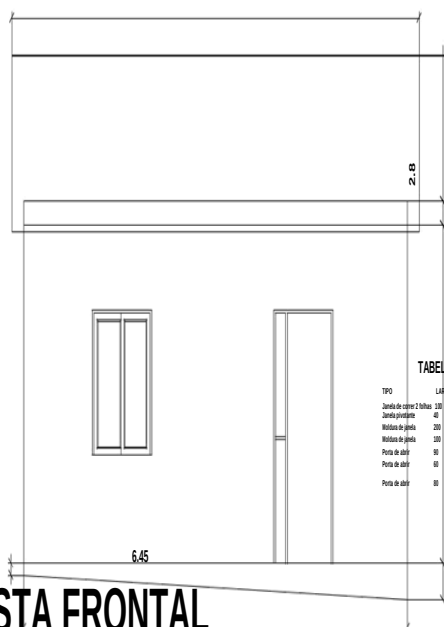
APÊNDICE A – planta baixa da edificação

10

VISTA LATERAL

ESCALA 1:50

6.85



VISTA FRONTAL

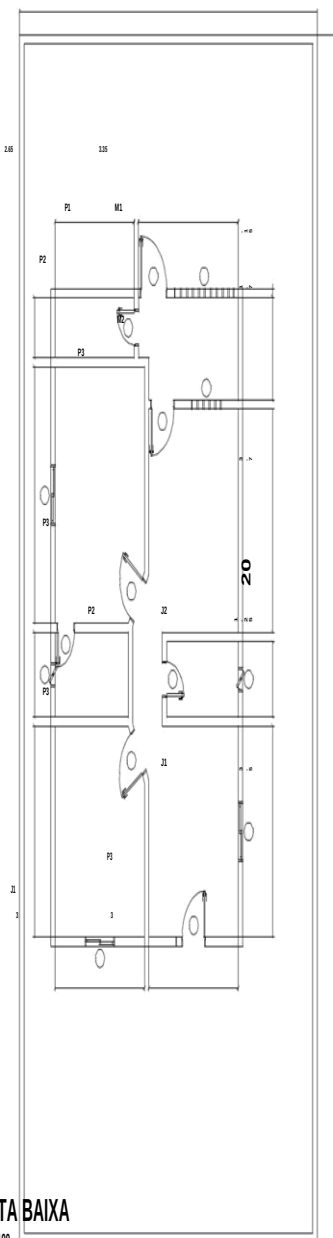
ESCALA 1:50

TABELA DE ESQUADRIAS

TIPO	LARGURA	ALTURA	PARAFETO	MATERIAL	QTD	ÁREA (m²)
Janela de madeira 2 folhas	120	80		Madeira	3	1.20
Janela de madeira 4 folhas	120	80		Madeira	2	0.80
Porta de madeira	120	80		Madeira	1	2.40
Porta de madeira	120	80		Madeira	1	1.20
Porta de madeira	80	120		Madeira	1	1.60
Porta de madeira	80	120		Madeira	1	1.60
Porta de madeira	80	120		Madeira	1	1.60

PLANTA BAIXA

ESCALA 1:100



LOCALIZAÇÃO:

PROJETO:

ESCALA:

DATA:

PAU DOS FERROS

RESP. TÉCNICO:

EDIFICAÇÃO HABITACIONAL

INDICADA

30/05/2015

-NEILTON JOEDSON

PA 01/01

ANEXO A

Tabela B.1 - 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 $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Notas:
 1 ε é a emissividade hemisférica total.
 2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.
 3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.
 4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

Tabela B.2 - Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ε) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

Tipo de superfície	α	ε
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caiçação nova	0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:		
Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde clara	0,40	0,90
"Alumínio"	0,40	0,50
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

ANEXO B

Tabela B.3 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
Fibro-cimento			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
Concreto (com agregados de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (ρ dos inertes ~750 kg/m³)			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00
Concreto com argila expandida			
dosagem de cimento > 300 kg/m ³ , ρ dos inertes > 350 kg/m ³	1600-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
dosagem de cimento < 250 kg/m ³ , ρ dos inertes < 350 kg/m ³	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1,00
	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00
	500-600	0,20	1,00
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00
Gesso			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)			
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84
Granulados			
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84