



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

William Alves do Vale

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO
LOCALIZADA EM CAMPINA GRANDE DE ACORDO COM A NORMA DE
DESEMPENHO ABNT NBR 15.575**

Campina Grande-PB, 16/03/2018.

Análise do Desempenho Térmico de uma Edificação Localizada em Campina Grande de Acordo com a Norma de Desempenho ABNT NBR 15.575

Trabalho de Conclusão de Curso

·
·
Campina Grande-PB, 16/03/2018

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

William Alves do Vale

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Universidade Federal de Campina Grande
como requisito para obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Civil.

Área de habilitação: Estruturas.

Orientador: Macel Wallace Queiroz Fernandes

CAMPINA GRANDE – PB

16/03/2018

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO
LOCALIZADA EM CAMPINA GRANDE DE ACORDO COM A NORMA DE
DESEMPENHO ABNT NBR 15.575**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Universidade Federal de Campina Grande
como requisito para obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Civil.

Área de habilitação: Estruturas.

Aprovado em 23/03/2018

BANCA EXAMINADORA



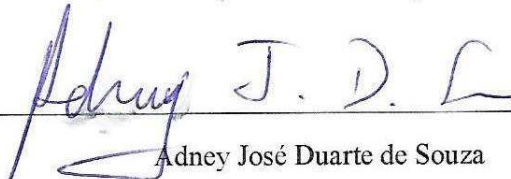
Prof Mestre Macel Wallace Queiroz Fernandes

(Orientador)



Dr. Marcos Antonio de Souza Simplicio

(Membro Interno)



Adney José Duarte de Souza

(Membro Externo)

AGRADECIMENTOS

À Deus primeiramente, por sempre estar ao meu lado, e mesmo que não entenda o caminho, confio no Senhor.

Aos meus pais, Maria Euredice e Francisco Moura, que sempre me forneceram todo suporte na vida, e me ensinaram a lidar com as adversidades da vida.

A minha irmã, Ana Carolina Alves, que apesar de me irritar como ninguém, sempre esteve comigo, para me auxiliar no que eu precisasse.

Aos meus avós, Maria de Lourdes e Adão Mariano, e toda minha família, que sempre me apoiaram e acreditaram em mim.

Ao meu melhor amigo e parceiro, Wanderson Lopes, presente em todas as situações. Muito obrigada por sempre estar comigo, me apoiando e acreditando em mim.

Ao meu orientador, Macel Wallace Queiroz, pela orientação para a conclusão de mais essa etapa. Obrigada pela paciência e dedicação.

Aos professores da UFCG que me ajudaram na construção do conhecimento que irei levar para vida toda.

Aos funcionários da UFCG pela presteza e atendimento quando foi necessário.

DEDICATÓRIA

A minha formação como profissional não poderia ter sido concretizada sem a ajuda de meus amáveis pais Francisco Moura do Vale e Maria Euredice Alves da Rocha Vale, que, no decorrer da minha vida, proporcionaram-me, além de extenso carinho e amor, os conhecimentos da integridade, da perseverança e de procurar sempre em Deus a força maior para o meu desenvolvimento como ser humano. Por essa razão, gostaria de dedicar e reconhecer a vocês, minha imensa gratidão e sempre amor.

RESUMO

A elaboração da ABNT NBR 15.575, vem mobilizando esforços desde 2008 em todo o setor da construção civil para adequação das construções nacionais segundo os parâmetros propostos pela norma. Sua publicação em 2013 representa um marco para o Brasil no que diz respeito à preocupação com as necessidades do usuário em termos de desempenho, sendo assim motivação da elaboração deste trabalho. Por recomendação da norma de desempenho, uma das metodologias necessárias para a obtenção dos parâmetros de análise do desempenho térmico fica a cargo da ABNT NBR 15.220. O conforto térmico é um ganho para o consumidor visto que influencia diretamente a satisfação do homem, a performance humana em atividades intelectuais, manuais e perceptivas e a conservação de energia. O presente estudo aplica o procedimento simplificado encontrado na ABNT NBR 15.220 e utiliza os requisitos propostos pela ABNT NBR 15.575 para análise do desempenho térmico em um projeto de unidade habitacional multifamiliar localizada em Campina Grande na Paraíba, especificamente para os sistemas de vedações verticais externas e de cobertura, sendo discutido posteriormente a conformidade da edificação em questão com os critérios presente na norma de desempenho. Os principais resultados esperados são a conscientização sobre a relevância do conforto térmico para os usuários, a importância do mesmo na elaboração de projetos, o posicionamento do cenário nacional no que concerne ao nível de desempenho térmico obtido nas edificações e primordialmente a avaliação da unidade habitacional e saber se a mesma apresenta os requisitos de desempenho propostos pela norma.

Palavras-chave: Norma de desempenho, desempenho térmico, NBR 15.575/2013, NBR 15.220/2005.

ABSTRACT

The preparation of ABNT NBR 15.575 has been mobilizing efforts since 2008 in the construction sector as a whole to adapt the national constructions according to the parameters proposed by the standard. Its publication in 2013 represents a milestone for Brazil with regard to the concern with the user's needs in terms of performance, and thus motivation to elaborate this work. By recommendation of the performance standard, one of the methodologies necessary to obtain the parameters of thermal performance analysis is in charge of ABNT NBR 15.220. The thermal comfort is a gain for the consumer since it directly influences the satisfaction of the man the human performance in intellectual, manual and perceptive activities and the conservation of energy. The present study applies the simplified procedure found in ABNT NBR 15.220 and uses the requirements proposed by ABNT NBR 15.575 for analysis of thermal performance in a multifamily housing project located in Campina Grande, Paraíba, specifically for external vertical and roof, and the conformity of the building in question is subsequently discussed with the criteria in the performance standard. The main expected results are the awareness about the relevance of thermal comfort for users, the importance of the same in the elaboration of projects, the positioning of the national scenario regarding the level of thermal performance obtained in the buildings and primarily the evaluation of the housing unit and whether it presents the performance requirements proposed by the standard.

Key words: Performance standard, thermal performance, NBR 15.575 / 2013, NBR 15.220 \ 2005.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção.

CT – Capacidade Térmica

EPS – Poliestireno Expandido

FV – Fator de Ventilação

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

ISO – International Organization for Standardization

α - Absortância Térmica

c – Capacidade Térmica

λ - Condutividade Térmica

ε – Emissividade

R_n - Resistência Térmica

A_n – Área de Cada Seção

e_i – espessura da camada i

c_i – calor específico do material da camada i

ρ_i – densidade de massa aparente do material da camada i

q – Fluxo Térmico

U - Transmitância térmica

M – Nível de Desempenho Mínimo

I – Nível de Desempenho Intermediário

S – Nível de Desempenho Superior

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Zoneamento bioclimático brasileiro.....	19
Figura 2 – Trocas de calor em edifícios.....	21
Figura 3 – Desenho esquemático de vedação com camadas não homogêneas.....	27
Figura 4 – Zoneamento bioclimático brasileiro.....	39
Figura 5 – Layout da fachada do condomínio.....	36
Figura 6 – Vista lateral do condomínio esperança.....	36
Figura 7 – Localização do empreendimento.....	37
Figura 8 – Escolha da unidade habitacional.....	38
Figura 9 – Apartamento Tipo 1.....	39
Figura 10 – Desenho esquemático da alvenaria e argamassa.....	40
Figura 11 – Representação da vedação mais exposta aos raios solares.....	41
Figura 12 – Representação da laje.....	45
Figura 13 – Telha de fibrocimento.....	46
Figura 14 – Condomínio esperança.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistencia térmica superficial interna e externa.....	26
Tabela 2 – Resistência térmica de câmara de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura.....	26
Tabela 3 – Transmitância térmica de paredes externas.....	32
Tabela 4 – Capacidade térmica de paredes externas.....	32
Tabela 5 – Áreas mínimas de ventilação em dormitórios e salas de estar.....	33
Tabela 6 – Critérios e níveis de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica.....	34
Tabela 7 – Valor de absorvância térmica em relação a cor.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Propriedades térmicas dos materiais.....	23
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivos Gerais	17
2.2. Objetivos Específicos	17
3. JUSTIFICATIVA	18
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1. Desempenho Térmico	18
4.1.1. Variáveis Climáticas	19
4.1.1.1. Macroclima	20
4.1.2.1. Mesoclima e microclima	20
4.1.2. Variáveis Humanas	22
4.1.3. Variáveis Arquitetônicas	22
4.2. ABNT NBR 15.220 – DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	24
4.2.1. Cálculo das Propriedades Térmicas	25
4.2.2. Zoneamento Bioclimático Brasileiro	28
4.3. ABNT NBR 15.575 – EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO	29
4.3.1. Parte 1: Requisitos Gerais	30
4.3.1.1. Edificações em fase de projeto	31
4.3.2. Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Externas	31
4.3.2.1. Requisito: Adequação de paredes externas	32
4.3.2.2. Requisito: Aberturas para ventilação.	33
4.3.3. Parte 5: Requisitos para os Sistemas de Coberturas	34
5. METODOLOGIA	34
6. ESTUDO DE CASO	35
6.1. Caracterização do empreendimento	35
6.2. Análise das Vedações Verticais Externas	39
6.2.1. Requisito: Transmitância térmica	39
6.2.2. Requisito: Capacidade térmica nas paredes externas	43
6.2.2.1. Requisito: Aberturas para ventilação.	43
6.3. Análise do Sistema de Cobertura	44
6.3.1. Cálculo do desempenho térmico da telha de fibrocimento	44
6.3.2. Cálculo do desempenho térmico da laje	45

6.3.3. Cálculo do desempenho térmico do sistema de cobertura	45
6.3.4. Cálculo da capacidade térmica do sistema de cobertura	47
7. ANÁLISE DE DADOS.....	48
8. CONCLUSÃO	50
9. REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta um grande crescimento no setor da construção civil, sendo esse de forma abrupta e desordenada visando principalmente o lucro. Com isso as edificações foram perdendo a qualidade (CBIC, 2013). Sendo assim, faz-se importante o estudo, entendimento e discussão deste momento de crescimento do mercado, vivido principalmente no ano de 2008, e o desempenho mínimo das novas unidades habitacionais a serem construídas.

Nos países desenvolvidos, desde a década de 60, o desempenho de edificações está associado ao comportamento das mesmas em utilização. O edifício é um produto que deve apresentar determinadas características que o capacitem a cumprir objetivos e funções para os quais foi projetado, quando submetido a determinadas condições de exposição e uso (BORGES, 2010).

Um marco importante para a aplicação do conceito de desempenho foi a elaboração da ISO 6241, em 1984, que definiu uma lista mestra de requisitos funcionais dos usuários de imóveis. Apesar de ter sido publicada há 24 anos, a ISO 6241 ainda é válida como referência para a consideração de quais requisitos de desempenho devem ser atendidos nas edificações (BORGES, 2010).

A partir de 2008 inicia-se no Brasil a elaboração da Norma de Desempenho ABNT NBR 15.575, a fim de sanar esse decaimento de qualidade das edificações, em 19 de fevereiro de 2013 foi publicada a Norma de Desempenho em Edificações Habitacionais – ABNT NBR 15575: 2013, que busca orientar tecnicamente os incorporadores e induzir uma melhoria na qualidade das construções. Sua importância está no fato de criar critérios e parâmetros para cada necessidade de usuário e condição de exposição, regulamentando o setor da construção civil (CBIC, 2013).

A norma em questão foi idealizada a partir de uma solicitação da Caixa Econômica Federal, sendo sua concepção inicial para edifícios residenciais de até cinco pavimentos, a fim de servir como guia de uma análise qualitativa das construções. Porém, sua proposta abrangente poderia ser aplicada a qualquer edifício residencial, exceto nos quesitos influenciados pela altura. Após a norma entrar em consulta pública e tendo-se o entendimento de que ela acabaria influenciando qualquer edificação a ser construída, decidiu-se expandir o conceito e abrangência da mesma.

O ano de 2013 foi marcado pelo início do vigor da Norma de Desempenho da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O texto institui nível de

desempenho mínimo ao longo de uma vida útil para os elementos principais de toda e qualquer edificação habitacional, sendo eles: estrutura, vedações, instalações elétricas e hidrossanitárias, pisos, fachada e cobertura.

A norma NBR 15575 foi redigida segundo modelos internacionais de normalização de desempenho. Ou seja, para cada necessidade do usuário e condição de exposição, aparece a sequência de Requisitos de Desempenho, Critérios de Desempenho e respectivos Métodos de Avaliação (CBIC,2013).

O conjunto normativo compreende seis partes:

Parte 1: Requisitos gerais;

Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;

Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;

Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;

Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;

Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários;

Cada parte da norma foi organizada por elementos da construção, percorrendo uma sequência de exigências relativas à segurança (desempenho mecânico, segurança contra incêndio, segurança no uso e na operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental) (CBIC,2013).

Dentre os requisitos que motivaram a elaboração da norma, está o conforto térmico, objeto do presente estudo. É determinado como conforto térmico, um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico.

O século XIX, através da Revolução Industrial, traz um novo elenco de materiais, como o aço e o concreto armado, desafiando a tradição de construir em alvenaria de pedra. Estas novas técnicas basearam novos conceitos arquitetônicos como o Estilo Internacional. (LAMBERTS, 2004).

No século XX houve uma maior preocupação com a melhoria da qualidade das edificações considerando aspectos de eficiência energética e conforto ambiental. Porém, embora existam vários edifícios que respondem às necessidades de desempenho térmico e visual, também existem muitos exemplos ruins. Um melhor aproveitamento do clima

pode ser obtido pelo planejamento apropriado de detalhes da edificação. O paisagismo, a orientação e a escolha da tipologia arquitetônica são fundamentais na adequação do edifício ao clima (LAMBERTS, 2004).

No Brasil, o desempenho térmico é normatizado a partir da ABNT NBR 15.575 Edificações Habitacionais – Desempenho que estabelece parâmetros que devem ser seguidos pelos projetistas afim de garantir uma qualidade a edificação. A metodologia de cálculo dos parâmetros se dá a partir da ABNT NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações. A norma conta com o esclarecimento de conceitos térmicos, metodologias de cálculo para as principais propriedades e estratégias de tratamento térmico, o que a torna uma importante ferramenta para projetistas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Gerais

O presente trabalho tem por objetivo aplicar o procedimento simplificado presente na NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações e utilizar os requisitos propostos na NBR 15.575 – Edificações habitacionais – Desempenho, a fim de analisar a edificação multifamiliar Condomínio Esperança localizado na cidade de Campina Grande Paraíba segundo a norma de desempenho, tratando especificamente dos requisitos de conforto térmico encontrados nas partes 1, 4 e 5 da NBR 15.575.

2.2. Objetivos Específicos

Foi realizado um estudo de caso de uma edificação multifamiliar localizado na cidade de Campina Grande na Paraíba, quanto ao seu desempenho térmico, avaliando os requisitos propostos pela norma e a partir dessa análise avaliar o desempenho da mesma, citando o que poderia ser feito em caso de desempenho insatisfatório. As características a serem avaliadas foram:

- Área de ventilação.
- Sistema de vedações verticais externas
- Coberturas.

3. JUSTIFICATIVA

A Norma de Desempenho da Associação Brasileira de Normas Técnicas motivou a realização deste trabalho. Após anos de revisão e debates, entra em vigor a norma que institui níveis de desempenho mínimos para os elementos principais de toda e qualquer edificação, estimulando a adequação de novos projetos segundo os requisitos apresentados.

Todo o processo de revisão da ABNT NBR 15.575 foi, dentre outras questões, motivada principalmente pelos requisitos relativos ao conforto térmico, conforto acústico, vida útil de projeto, ainda se nota uma escassez de laboratórios e profissionais qualificados para a realização de ensaios.

Para contemplar os requisitos da NBR 15.575 - Edificações Habitacionais, a chamada Norma de Desempenho, as faculdades de engenharia e arquitetura têm criado disciplinas e atualizado o conteúdo de seus cursos (BÉRGAMO, 2014). Estes fatos ilustram a importância da norma no atual cenário da construção civil brasileira.

O estudo do conforto térmico torna-se importante a partir do momento que este influencia a satisfação do homem; a performance humana em atividades intelectuais, manuais e perceptivas e a conservação de energia, ajudando na manutenibilidade da edificação.

Os requisitos da NBR 15.575 associados à metodologia presente na NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações dão base para a análise do conforto térmico das edificações nacionais, tornando-se importantes ferramentas para o desenvolvimento do assunto no setor da construção civil.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Desempenho Térmico

A norma NBR 15575 não trata de condicionamento artificial. Todos os critérios de desempenho foram estabelecidos com base em condições naturais de isolamento, ventilação e outras. (MATOZINHOS, 2014).

O desempenho térmico depende de diversas características do local da obra (topografia, temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento etc.) e da edificação (materiais constituintes, número de pavimentos, dimensões dos cômodos, pé

direito, orientação das fachadas, dimensões e tipos de janelas entre outros). As características do local fornecem os dados para caracterização das zonas e para se estabelecer os parâmetros da região, os dados da edificação por sua vez são usados para se calcular os parâmetros da mesma, e assim comparar com os parâmetros estabelecidos pela norma e avaliar o desempenho da mesma.

Os critérios de desempenho térmico são estabelecidos com base nas zonas bioclimáticas brasileiras, conforme a Figura 01:

Figura 1 – Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: MATOZINHOS, 2014.

4.1.1. Variáveis Climáticas

Segundo BRUNA (2014) quando o objeto de estudo é o desempenho térmico, deve-se ter em conta de que ele é resultado de uma junção de fatores, dentre eles as variáveis climáticas. Trata-se do estudo do clima e do local do projeto a fim de satisfazer às necessidades de conforto.

Os fatores climáticos terão influência no espaço arquitetônico construído, visto que a ação simultânea das variáveis climáticas atua de forma intrínseca na natureza. O clima pode ser analisado em três escalas distintas, o macroclima, o mesoclima e o

microclima. Esta divisão visa facilitar o entendimento da atuação do mesmo no ambiente construído.

4.1.1.1. Macroclima

Compreende as grandes regiões e zonas climáticas da terra e é o resultado da situação geográfica e orográfica (RAMOS A. 1987).

As variáveis do macroclima descrevem as características gerais de uma região em termos de sol, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitações.

A radiação solar é umas variáveis a ser analisada quando se trata de macroclima, podendo ser dividida em direta e difusa. Após sua penetração na atmosfera, a radiação sofre interferências no seu trajeto em direção à superfície terrestre, sendo a parcela que atinge diretamente o planeta chamada direta e a parcela que sofre espalhamento, tendo sua direção alterada, denominada difusa. A parcela direta da radiação é a principal influência nos ganhos térmicos em uma edificação, enquanto a parcela difusa é proporcionalmente maior quanto mais nublado for o céu.

Outra variável a ser tratada é a temperatura. A variação da temperatura na superfície da Terra é resultado dos fluxos das grandes massas de ar e da recepção da radiação solar distinta em diferentes localidades. Em posse da temperatura média, mínima e máxima mais prováveis para cada período do ano, o projetista tem a ferramenta necessária para a identificação dos períodos de maior probabilidade de desconforto a fim de poder intervir a nível de projeto. Porém a sensação de conforto térmico para uma mesma temperatura pode ser diferente em função de variáveis como o vento e a umidade.

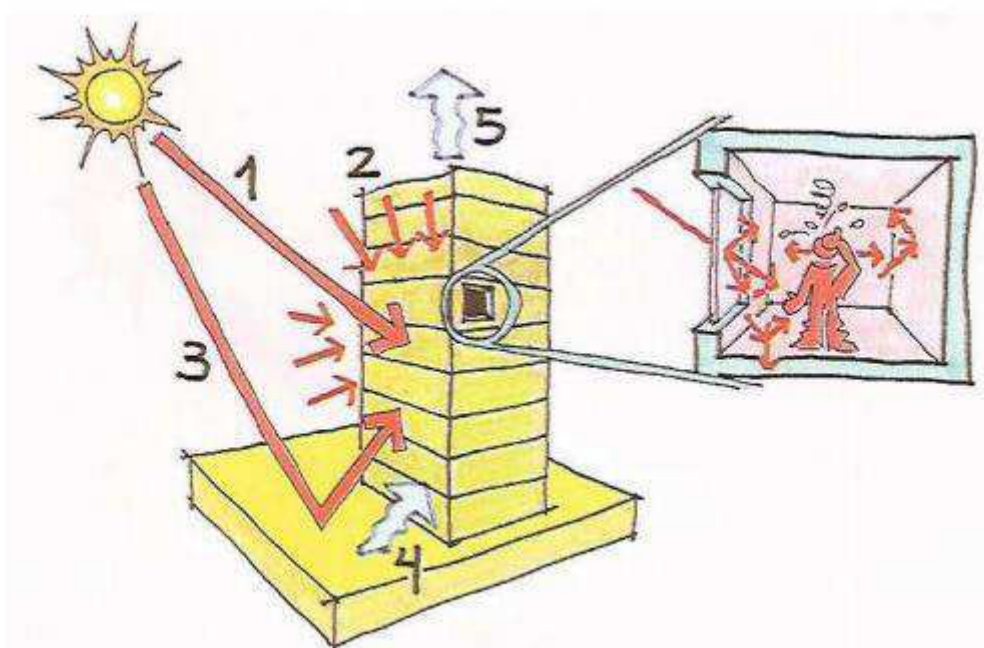
4.1.2.1. Mesoclima e microclima

O mesoclima e o microclima são escalas mais próximas da edificação. É no mesoclima que são consideradas variáveis como vegetação, topografia, tipo de solo e a presença de obstáculos naturais ou artificiais que irão influenciar nas condições locais de clima. Já o microclima engloba as variáveis específicas de determinado empreendimento, podendo ser modificado pelo projetista.

Nestas escalas, a radiação solar pode ser dividida em cinco tipos de transferência de calor: radiação solar direta (onda curta), radiação solar difusa (onda curta), radiação

solar refletida pelo solo e pelo entorno (onda curta), radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo céu (onda longa) e radiação térmica emitida pelo edifício (onda longa), como pode ser observado no desenho esquemático da Figura 2.

Figura 2 – Trocas de calor em edifícios: [1] radiação solar direta (onda curta), [2] radiação solar difusa (onda curta), [3] radiação solar refletida pelo solo e pelo entorno (onda curta), [4] radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo céu (onda longa) e [5] radiação térmica emitida pelo edifício (onda longa).



Fonte: LAMBERTS, 2004.

Os dois primeiros tipos de radiação, direta e difusa, são variáveis macroclimáticas. O terceiro tipo, refletida pelo solo e pelo entorno, depende diretamente das características da superfície refletora. Já as duas últimas, ocorrem após o solo e a edificação se aquecerem.

A classificação dos tipos de radiação ajuda a entender um efeito comum, o fenômeno do efeito estufa. A radiação solar de onda curta que entra por uma abertura no edifício aquecem os corpos no interior do mesmo, estes por sua vez emitem radiação de onda longa. Como o vidro é praticamente opaco à radiação de onda longa, não permite que o calor encontre passagem para o exterior, superaquecendo o ambiente interno.

As condições de vento local também influenciam estas escalas climáticas. O movimento do ar depende da rugosidade da superfície e, em geral, a velocidade do

vento aumenta com a altitude. Quanto maior a presença de obstáculos, como encontrados tipicamente nas cidades, mas baixa a velocidade média do vento.

4.1.2. Variáveis Humanas

O grupo de variáveis humanas está diretamente ligado à sensação de conforto térmico. Sendo o homem um ser homeotérmico, a temperatura interna do organismo tende a permanecer constante independente das condições do clima. Porém, ocorrem trocas térmicas entre o corpo humano e o meio, sendo o conforto térmico obtido quando o balanço destas trocas é nulo.

“A zona de conforto representa aquele ponto no qual a pessoa necessita de consumir a menor quantidade de energia para se adaptar ao ambiente circunstante”. (Olygay, 1973).

O calor em excesso afeta o desempenho das pessoas, causa inquietação, perda de foco além de ser um desconforto.

O conforto térmico é um conceito que não pode ser definido com exatidão. Para um mesmo ambiente com várias pessoas com vestuário diferente e a praticar diferentes atividades, é difícil conceber um ambiente agradável a todos. A zona de conforto não é algo objetivo, pois varia consoante as pessoas e depende de fatores quantificáveis como a temperatura e humidade do ar, e não quantificáveis como os hábitos e o estado mental.

O bem-estar no contexto de conforto térmico significa não sentir calor nem frio. Quando as condições exteriores permitem que os mecanismos de regulação térmica de um indivíduo sejam reduzidos o máximo possível, ou seja, que o organismo esteja em equilíbrio com o meio envolvente, dizemos que está termicamente confortável.

4.1.3. Variáveis Arquitetônicas

O desempenho térmico de uma construção depende da adequação arquitetônica ao seu local de implantação. A forma, a função e os fechamentos utilizados são os responsáveis por atingir o desempenho desejado.

A influência da forma arquitetônica se dá ao considerar o posicionamento da edificação projetada em relação ao fluxo de ar predominante e à radiação solar que incide em cada superfície. A orientação da edificação em relação ao fluxo de ar pode

canalizá-lo em benefício do conforto térmico. Já o conhecimento da incidência solar auxilia na definição dos materiais a serem utilizados nos fechamentos externos a fim de minimizar os efeitos das trocas de calor (BRUNA 2014).

A função arquitetônica interage com a forma e com a eficiência do projeto. Fatores como horário de funcionamento e tempo de permanência no cômodo podem mudar a estratégia utilizada para alcançar o conforto térmico.

Já o material utilizado nos fechamentos vai determinar as propriedades resultantes das trocas de energia entre o meio interno e externo. Os fechamentos podem ser divididos entre opacos e transparentes, sendo a diferença entre eles sua capacidade ou incapacidade de transmitir a radiação interna para o ambiente. Para alcançar o desempenho térmico desejado faz-se necessário o entendimento de conceitos de transmissão de calor e comportamento térmico dos fechamentos presentes no Quadro 1.

Quadro 1 – Propriedades térmicas dos materiais.

Propriedades Térmicas	Definição
Absortância térmica (α)	A radiação incidente no fechamento opaco terá uma parcela refletida e outra absorvida. A absortância térmica representa o percentual da parcela de radiação que determinada superfície irá absorver. Esta propriedade é determinada pela cor do material.
Condutividade térmica (λ)	A condutividade térmica representa a capacidade de determinado material conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo. Quanto maior o valor de λ , maior a quantidade de calor transferida entre as superfícies.
Emissividade (ϵ)	A emissividade é a propriedade física dos materiais que representa a quantidade de energia térmica emitida por unidade de tempo de uma superfície em contato com uma camada de ar.
Resistência térmica (R)	A resistência térmica é o quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade do fluxo de calor, em regime estacionário. Este conceito representa a propriedade do material em resistir à passagem de calor.
Transmitância	A transmitância térmica é determinada pelo inverso da resistência

térmica (U)	térmica total do fechamento. É através desta variável que se pode avaliar o comportamento de um fechamento opaco frente à transmissão de calor.
Fluxo térmico (q)	Quociente do fluxo de calor que atravessa uma superfície pela área dessa superfície. Quando se trata em 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
Capacidade térmica (c)	Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.
Inércia térmica	Os fechamentos absorvem calor tanto do meio externo quanto interno, dependendo de onde o ar tem a maior temperatura. Ao conduzir o calor, o material retém uma parte no seu interior em consequência de sua massa térmica. Quanto maior a massa térmica, maior o calor retido, e este será devolvido ao interior quando a temperatura do ar for menor que a superfície. A esta característica dá-se o nome de inércia térmica.

Fonte: ABNT NBR 15.220-1, 2005

4.2 ABNT NBR 15.220 – DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Ao tratar de desempenho térmico no Brasil, a ABNT NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações é a principal referência. Esta norma é dividida em cinco partes e é responsável pela definição e metodologia de cálculo do desempenho térmico. A ABNT NBR 15.575 – Desempenho utiliza esta norma como base para toda a metodologia de cálculo necessária para obtenção dos parâmetros de comparação entre os níveis de projeto e os níveis de desempenho mínimo(M), intermediário (I) e superior (S) propostos e aceitos pela norma.

A primeira parte da norma ABNT NBR 15.220 estabelece as definições e os correspondentes símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico de edificações. Nesta parte constam tabelas organizando os parâmetros e suas respectivas unidades.

Já o objetivo da segunda parte é apresentar os procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas de elementos e componentes de edificações. São apresentadas

todas as fórmulas, parâmetros e valores típicos necessários para calcular propriedades como resistência, transmitância e capacidade térmica. Para facilitar o entendimento dos cálculos, a norma conta também com exemplos ilustrativos.

A terceira parte da norma introduz as diretrizes do zoneamento bioclimático brasileiro, abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social.

Por fim, as duas últimas partes da norma são destinadas a procedimentos de ensaios de campo para medição da resistência de materiais. São respectivamente, a medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida e a medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

4.2.1. Cálculo das Propriedades Térmicas

A NBR 15.220-2 apresenta de forma simplificada e com exemplos como deve se realizar o cálculo das propriedades térmicas para determinação do desempenho térmico do empreendimento.

Começaremos analisando a transmitância térmica de componentes, que é representada pelo inverso da resistência térmica total, como é representado na equação 1:

$$U = 1/R_T \quad \text{eq. 1}$$

Onde:

U – Transmitância térmica

R_T – Resistência térmica total.

Para o cálculo da resistência térmica total de ambiente a ambiente, é utilizada a equação 2.

$$R_T = R_{SE} + R_t + R_{SI} \quad \text{eq. 2}$$

Onde:

R_t – é a resistência térmica de superfície a superfície.

R_{SE} e R_{SI} são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas na Tabela 1.

Tabela 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: ABNT NBR 15.220-2, 2005

O cálculo da resistência térmica de superfície a superfície depende da composição da vedação vertical. Para um componente plano constituído de camadas homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, utiliza-se a equação 3.

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + R_{t3} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn} \quad \text{eq. 3}$$

Onde:

$R_{t1}, R_{t2}, \dots, R_{tn}$ – são as resistências térmicas das n camadas homogêneas.

$R_{ar1}, R_{ar2}, \dots, R_{arn}$ – são as resistências térmicas das n camadas de ar, obtidas a partir da Tabela 2.

Tabela 2 – Resistência térmica de câmara 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 $\rho > 0,8$	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,14	0,13	0,15
	2,0 < e ≤ 5,0	0,16	0,14	0,18
	e > 5,0	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\rho < 0,2$	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,29	0,23	0,29
	2,0 < e ≤ 5,0	0,37	0,25	0,43
	e > 5,0	0,34	0,27	0,61

Notas:
 1. ρ 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.

Fonte: ABNT NBR 15.220-2, 2005

Por fim, a resistência térmica de cada camada é dada pela equação 4.

$$R = e/\lambda$$

eq. 4

Onde:

e – espessura da camada, tendo os seus valores para condutividade térmica de materiais comumente usados dispostos na tabela de propriedades térmicas dos materiais no anexo A.

Caso a vedação seja composta por camadas heterogêneas e não homogêneas, a resistência térmica de superfície a superfície, perpendiculares ao fluxo de calor é dado pela equação 5:

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

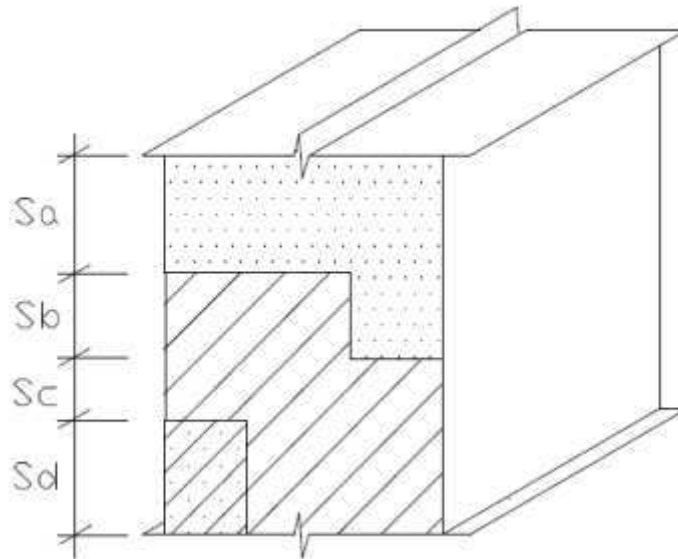
eq. 5

Onde:

R_a, R_b, \dots, R_n são as resistências térmicas de superfície a superfície para cada seção.

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

Figura 3 – Desenho esquemático de vedação com camadas não homogêneas



Fonte: ABNT NBR 15.220-2, 2005

Por fim, a absorvância é dada pela tabela encontrada no anexo B.

Outra propriedade importante para a definição do desempenho térmico é a capacidade térmica.

No caso de paredes que tenham na sua composição materiais isolantes térmicos de condutividade térmica menor ou igual a 0,065 W/(m.K) e resistência térmica maior

que 0,5 (m².K)/W, o cálculo da capacidade térmica deve ser feito desprezando-se todos os materiais voltados para o ambiente externo, posicionados a partir do isolante ou espaço de ar.

A capacidade térmica de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela equação 6.

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad \text{eq. 6}$$

Onde:

C_{Ta}, C_{Tb}, ..., C_{Tn} – são as capacidades térmicas do componente de cada seção.

A_a, A_b, ..., A_n – são as áreas de cada seção

A capacidade térmica do componente é dada pela equação 7.

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad \text{eq. 7}$$

Onde:

λ_i – é a condutividade térmica do material da camada i.

R_i – é a resistência térmica da camada i.

e_i – é a espessura da camada i.

c_i – e o calor específico do material da camada i.

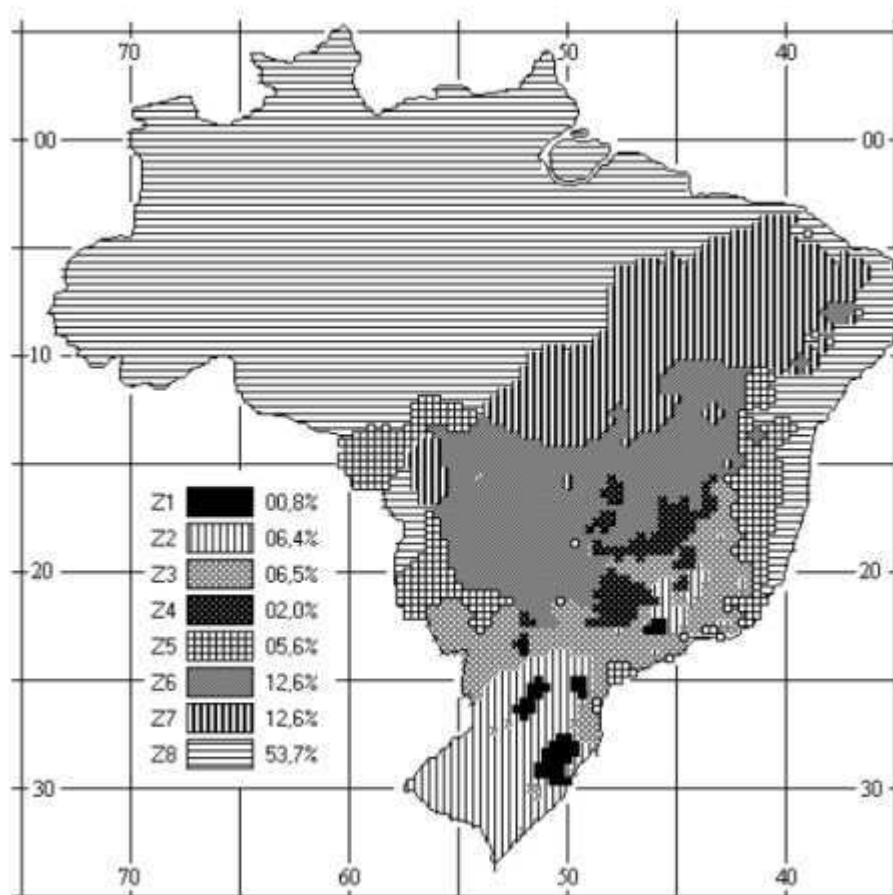
ρ_i – é a densidade de massa aparente do material da camada i.

4.2.2. Zoneamento Bioclimático Brasileiro

A norma propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, e para cada uma destas zonas formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações através de sua melhor adequação climática.

Para facilitar a busca do projetista, a norma conta com tabela contendo trezentos e trinta cidades já catalogadas e suas respectivas zonas bioclimáticas. Para cidades não catalogadas pode-se utilizar o mapeamento do território brasileiro presente na Figura 4.

Figura 4 – Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: ABNT NBR 15.220-2, 2005

4.3. ABNT NBR 15.575 – EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO

A NBR 15.575 está dividida em seis partes, que abrangem especificamente requisitos gerais da edificação, sistemas estruturais, sistemas de pisos, de vedações verticais externas e internas, de coberturas e hidrossanitários e remetem às normas técnicas que devem ser seguidas em cada uma dessas etapas de projeto. Para cada sistema são instituídos níveis mínimos de desempenho, os métodos de avaliação e a vida útil, a fim de atender as demandas dos usuários em termos de segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Essas demandas são definidas na primeira parte da norma que inclui também os requisitos gerais comuns aos diferentes sistemas, estabelecendo as interações entre eles sempre com foco no desempenho global e no comportamento em uso do edifício. As demais partes isolam os sistemas determinados.

As regras poderão avaliar um todo, mas também poderão ser analisadas de forma separada para um ou mais sistemas específicos. O início de vigência da norma ABNT NBR 15.575 se deu a partir do dia 19 de julho de 2013.

Com o objetivo de satisfazer as necessidades básicas de desempenho os diferentes sistemas têm requisitos mínimos de desempenho (M), os quais devem ser atendidos e considerados em todos os casos. Para incentivar a melhoria na qualidade das edificações, são estabelecidos níveis mais elevados do que o mínimo, denominados intermediário (I) e superior (S), os quais devem atender requisitos respectivamente mais elevados.

No que concerne ao desempenho térmico, os sistemas contemplados são os de vedações verticais externas e os de coberturas, que podem ser encontrados nas partes 1, 4 e 5 da ABNT NBR 15.575. Toda a metodologia de cálculo dos parâmetros é feita com base na ABNT NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações.

4.3.1. Parte 1: Requisitos Gerais

O item 11 da parte 1 da NBR 15.575 introduz os procedimentos de avaliação do desempenho térmico. O texto mostra dois procedimentos para esta avaliação, estes procedimentos estão prescritos abaixo.

Procedimento 1 – Simplificado (normativo): atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedações e coberturas, conforme ANBT NBR 15.575-4 e ABNT NBR 15.575-5. Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme critérios e métodos estabelecidos nas normas supracitadas, resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional.

Procedimento 2 – Medição (informativo): verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na ABNT NBR 15.575-1, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Este método é de caráter apenas informativo e não se sobrepõe ou substitui aos procedimentos descritos no método simplificado ou normativo. É uma ferramenta adicional para avaliar, de forma menos criteriosa do que os métodos normativos prescritos, o desempenho térmico da unidade habitacional. Essa aferição de temperatura é realizada a partir da temperatura do bulbo seco do ar a ser medido no centro dos recintos de maior estadia dos ocupantes (quartos e salas) a 1,2m

do piso. Para a realização das medições seguir as especificações de equipamento e montagem de sensores, apresentados na ISO 7726.

O presente trabalho focará no procedimento 1 dito simplificado, onde o atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e cobertura é dado conforme as ABNT NBR 15.575-4 e ABNT NBR 15.575-5.

4.3.1.1. Edificações em fase de projeto

De acordo com a norma ABNT NBR 15.575 a avaliação de projeto deve ser realizada para um dia típico de projeto, de verão e/ou de inverno.

Para edifícios multipiso, a primeira regra a ser observada é selecionar uma unidade do último andar, com cobertura exposta. Já para um conjunto habitacional de edificações térreas, deve-se selecionar a unidade habitacional com o maior número de paredes expostas.

O próximo passo é considerar as recomendações para a condição crítica do ponto de vista térmico. É preciso levar em consideração que para o verão, deve-se selecionar uma unidade com janela do dormitório ou da sala voltada para oeste e a outra parede exposta voltada para norte. Caso não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para oeste.

Já para o inverno, deve-se selecionar uma unidade com janela do dormitório ou da sala voltada para o sul e a outra parede exposta voltada para o leste. Caso não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para o sul.

Considera-se também que as paredes expostas e as janelas estão desobstruídas, ou seja, sem a presença de edificações ou vegetação nas proximidades que modifiquem a incidência de sol ou vento. Por outro lado, dispositivos de sombreamento devem ser considerados na simulação.

4.3.2. Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Externas

A ABNT NBR 15.575-4 apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas, conforme definições, símbolos e unidades das ABNT NBR 15.220.

Segundo o texto, os sistemas de vedações verticais externas são avaliados, de acordo com os critérios de desempenho constantes nesta parte, considerando o

procedimento simplificado de análise. Caso o sistema de vedação vertical externo não atenda aos critérios, é necessário aplicar o procedimento de análise de acordo com a ABNT NBR 15.575-1, considerando o procedimento de simulação do desempenho térmico.

4.3.2.1. Requisito: Adequação de paredes externas

A edificação deve apresentar transmitância térmica e capacidade térmica que proporcionem pelo menos desempenho térmico mínimo de acordo com cada zona bioclimática estabelecida na ABNT NBR 15.220-3, e representada no presente trabalho pela Figura 4.

A primeira propriedade a ser avaliada será a transmitância térmica. Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das paredes externas são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Transmitância térmica de paredes externas.

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

Fonte: ABNT NBR 15.575-4, 2013.

Os cálculos devem estar conforme procedimentos apresentados na ABNT NBR 15.220-2.

A segunda propriedade a ser verificada é a capacidade térmica. Os valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica (CT) das paredes externas são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Capacidade térmica de paredes externas.

Capacidade térmica (CT) ($kJ/m^2 \cdot K$)	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.
Sem requisitos	≥ 130

Fonte: ABNT NBR 15.575-4, 2013.

O cálculo deve ser realizado como está prescrito na ABNT NBR 15.220-2.

4.3.2.2. Requisito: Aberturas para ventilação.

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.

Os ambientes de permanência prolongada devem ter aberturas para ventilação com áreas que atendam à legislação específica do local da obra, incluindo Códigos de Obras dentre outros.

Quando não houver requisitos de ordem legal, para o local de implantação da obra devem ser adotados os valores indicados na Tabela 5.

. Tabela 5 – Áreas mínimas de ventilação em dormitórios e salas de estar.

Nível de Desempenho	Aberturas	
	Zonas 1 a 7 Aberturas médias	Zona 8 Aberturas Grandes
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área do piso	$A \geq 12\%$ da área do piso REGIÃO NORTE DO BRASIL $A \geq 8\%$ da área do piso REGIÃO NORDESTE E SUDESTE DO BRASIL
Nas zonas de 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período frio.		

Fonte: ABNT NBR 15.575-4, 2013.

A análise da porcentagem de área ventilada deve ser realizada para cada ambiente de longa permanência, de acordo com a equação 8:

$$A = 100 \times (A_A/A_P) (\%) \quad \text{eq. 8}$$

Onde:

A_A – é a área efetiva de abertura da ventilação do ambiente, sendo que para o cálculo desta área somente são consideradas as aberturas que permitam a livre circulação do ar, devendo ser descontadas as áreas de perfis, vidros e de qualquer outro obstáculo; nesta área não são computadas as áreas de portas internas. No caso de cômodos dotados de portas-balcão ou semelhantes, na fachada da edificação, toda a área aberta resultante do deslocamento da folha móvel da porta é computada.

A_p – é a área de piso do ambiente.

4.3.3. Parte 5: Requisitos para os Sistemas de Coberturas

Os requisitos e critérios de desempenho para a verificação de níveis mínimos de desempenho térmico de coberturas são apresentadas conforme símbolos, definições e unidades na ABNT NBR 15.220-1 e ABNT NBR 15.220-5.

A edificação deve apresentar transmitância térmica e absorvância à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática, de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 – Critérios e níveis de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica.

Transmitância térmica (U) W/m ² .K					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8 ¹		Nível de desempenho
$U \leq 2,3$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$	Mínimo (M)
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3$ FV	$U \leq 1,5$ FV	
$U \leq 1,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$	Intermediário (I)
	$U \leq 1,5$	$U \leq 1,0$	$U \leq 1,5$ FV	$U \leq 1,0$ FV	
$U \leq 1,0$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha \leq 0,4$	Superior (S)
	$U \leq 1,0$	$U \leq 0,5$	$U \leq 1,0$ FV	$U \leq 0,5$ FV	

¹ Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro.

NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15.220-2

Fonte: ABNT NBR 15.575-5, 2013.

Caso no projeto do sistema de cobertura haja previsão de isolamento térmica, este deve fazer referências às Normas Brasileiras pertinentes.

5. METODOLOGIA

Com base na norma foi estudada a edificação multifamiliar quanto ao seu desempenho térmico. Para o mesmo foi realizado uma revisão bibliográfica acerca das normas da ABNT, dissertações, teses e artigos que apresentam assuntos referentes a

Norma de Desempenho Térmico. Levantou-se os dados da edificação que viriam posteriormente a serem avaliados nos parâmetros estabelecidos pela norma ABNT NBR 15.575 para análise do desempenho térmico em projeto do Condomínio Esperança localizada na cidade de Campina Grande na Paraíba. Foram estudadas as conformidades e não conformidades do desempenho da edificação em questão, levando em consideração os níveis mínimos, intermediários e superiores propostos pela norma e avaliando o desempenho térmico da mesma. Os cálculos foram baseados na norma ABNT NBR 15.220 que apresentam a metodologia de cálculo dos parâmetros.

6. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso consiste na análise do projeto de uma edificação multifamiliar sobre o ponto de vista térmico utilizando a metodologia de cálculo de parâmetros da ABNT NBR 15.220 aplicada às exigências de desempenho da ABNT NBR 15.575.

6.1. Caracterização do empreendimento

O Condomínio Esperança trata-se de um edifício residencial situado no bairro universitário de Campina Grande, Paraíba. O condomínio possui 4 pavimentos com 4 unidades habitacionais por pavimento totalizando um total de 16 apartamentos. Possui uma área de lote de 583,78m² e uma área construída de 1.100,88m².

O edifício residencial possui forma retangular em planta, sendo seus pavimentos ocupados da seguinte forma:

- a) SUBSOLO: Garagem, rampa de acesso térreo, Hall Social, Circulação vertical, Lixeira e GLP (Gás Liquefeito de Petróleo);
- b) TÉRREO: Guarita com lavabo, Entrada principal, Hall Social, rampa de acesso ao subsolo, Elevador, Circulação vertical e 04 apartamentos sendo, 02 apartamentos Tipo 1: (com 01 suíte, 01 quarto, 01 wc social, sala de estar, sala de jantar, cozinha e área de serviço) e 02 apartamentos Tipo 2: (com 02 quartos, 01 wc social, sala de estar, sala de jantar, cozinha e área de serviço).
- c) 2º ao 4º PAVIMENTO: Hall Social, Elevador, Circulação vertical e 04 apartamentos sendo, 02 apartamentos Tipo 1: (com 01 suíte, 01 quarto, 01 wc social, sala de estar, sala de jantar, cozinha e área de serviço) e 02 apartamentos Tipo 2: (com 02 quartos, 01 wc social, sala de estar, sala de jantar, cozinha e área de serviço)

d) COBERTA: Casa de Máquinas e Caixa d'água

e) O edifício contém 19 vagas de garagem, 16 apartamentos sendo, 08 unidades do TIPO 01 (com 66,91 m²) e 08 unidades do TIPO 02 (com 50,58 m²).

Figura 5 – Layout da fachada do condomínio.



Fonte: Consolid – Serviços de engenharia LTDA.

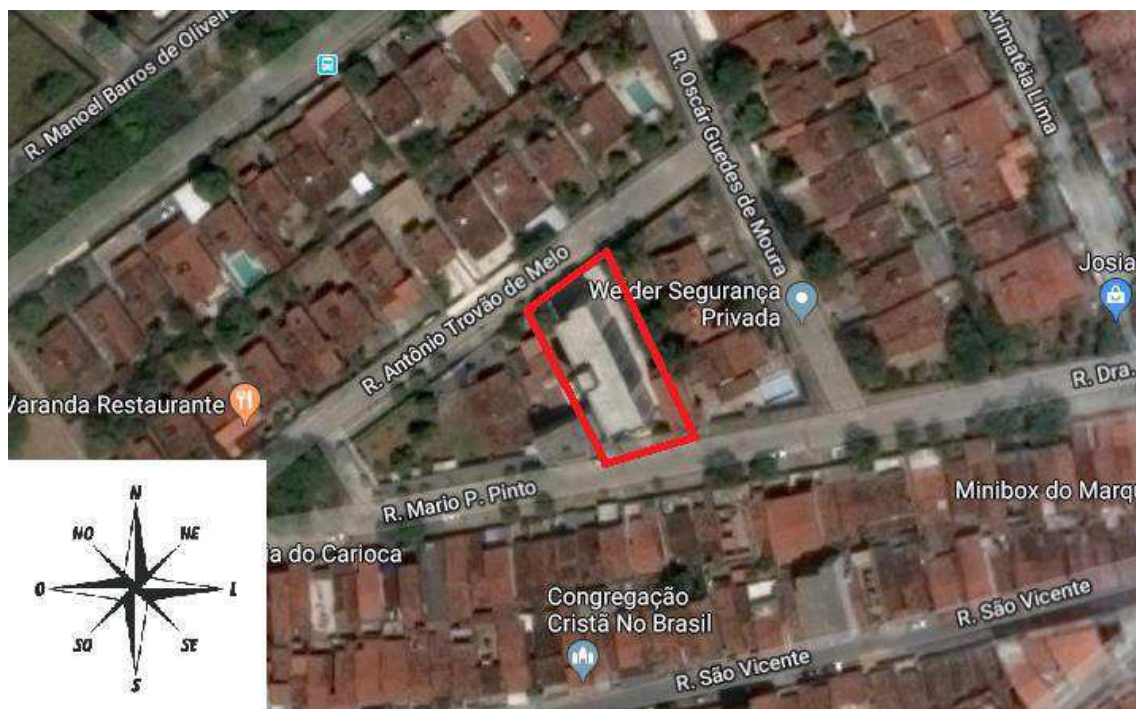
Figura 6 – Vista lateral do condomínio esperança.



Fonte: Própria.

O empreendimento localiza-se entre as ruas Antônio Trovão de Melo e Doutora Maria Estelina Cruz P. Pinto, sendo sua entrada disposta na Rua Antônio Trovão de Melo, como e mostrada na Figura 7.

Figura 7 – Localização do empreendimento.



Fonte: Google Maps, 2018.

Segundo a ABNT NBR 15.220 anexo A, A região correspondente a cidade de Campina Grande na Paraíba está situada na zona bioclimática 8, sendo assim, os únicos critérios a serem analisados serão referentes ao dia típico de verão. Deve-se escolher uma unidade crítica do ponto de vista térmico, respeitando os seguintes requisitos citados no item 5.3.1.1.

Por se tratar de um edifício multipiso, deve-se selecionar uma unidade no último andar, com cobertura exposta. Além disso, as condições críticas de verão se dão preferencialmente em unidades com janela do dormitório ou da sala voltada para oeste e a outra parede exposta voltada para o norte.

Levando em consideração estas duas condições e a maior área exposta possível, selecionou-se a unidade representada na Figura 8.

Figura 8 – Escolha da unidade habitacional.



Fonte: Consolid – Serviços de engenharia LTDA.

Houve uma mudança na construção do edifício em que a entrada principal e o acesso para a garagem foram invertidos e passaram a se localizar a esquerda da edificação na Rua Antônio Trovão de Melo.

A unidade habitacional escolhida é um apartamento tipo 1, que está representado na Figura 9 com um maior nível de detalhamento.

Figura 9 – Apartamento Tipo 1.



Fonte: Consolid – Serviços de engenharia LTDA.

A unidade habitacional escolhida se encontra no ultimo pavimento e foi escolhida baseada no fato de possuir sua cobertura exposta, respeitando assim os requisitos citados no item 5.3.1.1.

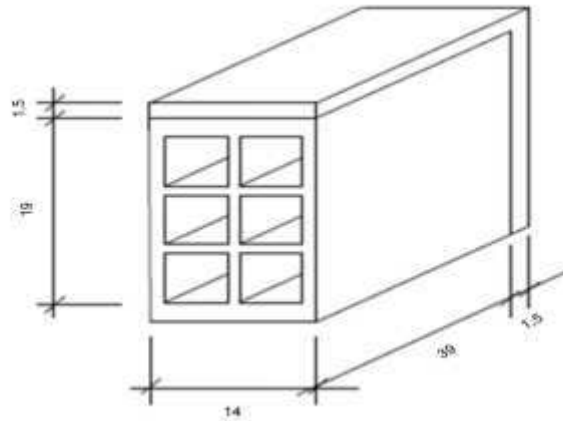
6.2. Análise das Vedações Verticais Externas.

6.2.1. Requisito: Transmitância térmica.

As vedações verticais externas são heterogêneas compostas por uma camada externa de chapisco, emboço e reboco em argamassa de 2,5 cm, bloco cerâmico de 6 furos de tamanho 14 x 19 x 39 cm e uma camada interna de chapisco, emboço e reboco em argamassa de 2,5 cm, e uma fina camada de argamassa de 1,5 cm para assentamento

de uma alvenaria sobre outra, a Figura 10 mostra um desenho esquemático da alvenaria e argamassa.

Figura 10 – Desenho esquemático da alvenaria e argamassa.



Fonte: Adaptada da ABNT NBR 15.220.

Para o cálculo dos parâmetros, deve-se calcular a resistência do tijolo e posteriormente da parede.

Já que pela manhã, o sol é menos intenso e a sensação térmica mais confortável, logo o sol da tarde deixa os cômodos mais abafados e quentes, especialmente no verão, já que o sol nasce no Leste e se põe no Oeste, o sol da tarde incide diretamente nas paredes voltadas para o Oeste.

Para o cálculo da transmitância térmica foi utilizada a parede representada na Figura 11, por se tratar de uma parede voltada para o oeste, onde se dá a maior incidência de raios solares.

Figura 11 – Representação da vedação mais exposta aos raios solares.



Fonte: Consolid – Serviços de engenharia LTDA.

O cálculo da resistência térmica do tijolo (R_{tijolo}) é dado conforme os cálculos a seguir:

Seção 1 - Parte superior do tijolo:

$$A_1 = 0,01 \times 0,39 = 0,0039 \text{ m}^2$$

$$R_1 = (e_{\text{cerâmica}}/\lambda_{\text{cerâmica}}) = (0,14/0,90) = 0,1556 \text{ (m}^2\cdot\text{K) /W}$$

Seção 2 - Parede Cerâmica do Tijolo + câmara de ar + Parede Cerâmica do Tijolo + câmara de ar + Parede Cerâmica do Tijolo (Pode ser representada por uma linha que corta o bloco cerâmico ao meio).

$$A_2 = 0,05 \times 0,39 = 0,0195 \text{ m}^2$$

$$R_2 = (e_{\text{cerâmica}}/\lambda_{\text{cerâmica}}) + R_{\text{ar}} + (e_{\text{cerâmica}}/\lambda_{\text{cerâmica}}) + R_{\text{ar}} + (e_{\text{cerâmica}}/\lambda_{\text{cerâmica}})$$

$$R_2 = (0,015/0,9) + 0,16 + (0,01/0,09) + 0,16 + (0,015/0,9) = 0,3644 \text{ (m}^2\cdot\text{K) /W}$$

Logo:

$$R_{\text{tijolo}} = \frac{4 \times A_1 + 3 \times A_2}{4 \times A_1 / R_1 + 3 \times A_2 / R_2} = \frac{4 \times 0,0039 + 3 \times 0,0195}{4 \times 0,0039 / 0,1556 + 3 \times 0,0195 / 0,3644} =$$

$$R_{\text{tijolo}} = 0,2841 \text{ (m}^2\cdot\text{K) /W}$$

O cálculo da resistência térmica da parede (R_p) é:

Seção A - chapisco + emboço + reboco + argamassa de assentamento + chapisco + emboço + reboco (parte superior).

$$R_a = (e_{\text{chapisco + emboço + reboco}} / \lambda_{\text{chapisco + emboço + reboco}}) + (e_{\text{argamassa}} / \lambda_{\text{argamassa}}) + ($$

$$R_a = (0,025/1,15) + (0,14/1,15) + (0,025/1,15) = 0,1652 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$$

Seção B - chapisco + emboço + reboco + tijolo + chapisco + emboço + reboco (pode ser representada por uma linha que corta transversalmente a parede ao meio).

$$A_b = 0,19 \times 0,39 = 0,0741 \text{ m}^2$$

$$R_b = (e_{\text{chapisco + emboço + reboco}} / \lambda_{\text{chapisco + emboço + reboco}}) + R_{\text{tijolo}} + (e_{\text{chapisco + emboço + reboco}} / \lambda_{\text{chapisco + emboço + reboco}})$$

$$R_b = (0,025/1,15) + 0,2841 + (0,025/1,15)$$

$$R_b = 0,3276 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$$

Logo:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{A_a / R_a + A_b / R_b} = \frac{0,0089 + 0,0741}{0,0089 / 0,1652 + 0,0741 / 0,3276} =$$

$$R_t = 0,2963 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$$

Logo a resistência térmica total será:

$$R_T = R_{SI} + R_t + R_{SE} = 0,13 + 0,2963 + 0,04 = 0,4663 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$$

Os valores de R_{SI} e R_{SE} são obtidos a partir da Tabela 1.

Cálculo da transmitância térmica (U):

$$U = 1/R_T = 1/0,4663 = 2,14 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

A absorvância térmica (α) depende da cor a ser utilizada na face externa da vedação. No empreendimento estudado a parede exposta a maior presença de raios solares apresenta a cor branca, mas como parte da construção apresenta uma cor azul, será usado para o cálculo a situação mais desfavorável, logo a cor azul se apresenta como uma cor média e de acordo com a Tabela 7 tem valor de absorvância térmica $\alpha = 0,5$.

Tabela 7 – Valor de absorvância térmica em relação a cor.

Cor	Absorvância Térmica (α)
Cor Clara	0,3
Cor Média	0,5
Cor Escura	0,7

Fonte: Adaptado ABNT NBR 15.575-1.

De acordo com a ABNT NBR 15.575-4, considerando a localização do empreendimento na zona bioclimática 8, para valores de absorvância (α) menores que 0,6, a vedação deve apresentar transmitância térmica (U) menor ou igual a 3,7 W/(m².K), como observado na Tabela 3.

Os cálculos apresentados no presente estudo demonstram que o empreendimento em questão encontra-se conforme à ABNT NBR 15.575, visto que apresenta transmitância térmica igual a 2,14 W/(m².K).

6.2.2. Requisito: Capacidade térmica nas paredes externas

Segundo a ABNT NBR 15.575-4, não há valores mínimos exigidos para capacidade térmica de vedações localizadas na zona bioclimática 8, como pode-se observar na Tabela 4.

6.2.2.1. Requisito: Aberturas para ventilação.

Para o requisito de ventilação de ambientes de longa permanência foram analisadas a suíte, o quarto e a sala localizados na dependência da unidade habitacional.

A suíte possui uma área de 11,17m² (Aps) e uma janela corrediça de duas folhas com dimensões de 1,8 m x 1,3m, portanto a área efetiva de ventilação da janela será igual a área da esquadria dividida por 2, já que apenas uma folha poderá se manter totalmente aberta.

$$A_{vs} \text{ (área de ventilação da suíte)} = (1,8 \times 1,3) / 2 = 1,17 \text{ m}^2$$

$$A = 100 \times (A_{vq}/A_{ps}) (\%) = 10,47 \%$$

O quarto possui uma área de 11,54m² (Apq) e uma janela corrediça de duas folhas com dimensões de 1,8 m x 1,3m, portanto a área efetiva de ventilação da janela será igual a área da esquadria dividida por 2, já que apenas uma folha poderá se manter totalmente aberta.

$$A_{vq} (\text{área de ventilação do quarto}) = (1,45 \times 1,3) / 2 = 1,17 \text{ m}^2$$

$$A = 100 \times (A_{vq}/A_{pq}) (\%) = 10,13 \%$$

A sala possui uma área de 22,59m² (A_{psl}) e três janelas pivotante com dimensões de 0,5m x 2,10m.

$$A_{vsl} (\text{área de sala}) = (0,5 \times 2,1) \times 3 = 3,15 \text{ m}^2$$

$$A = 100 \times (A_{vsl}/A_{psl}) (\%) = 13,94 \%$$

A ABNT NBR 15.575 exige que edificações localizadas na zona bioclimática 8, na região nordeste, possuam aberturas grandes. A abertura de ventilação deve ser maior ou igual a 8%, como pode ser observado na Tabela 5. Visto que a suíte possui 10,47%, o quarto 10,13% e a sala 13,94% de abertura para ventilação, a unidade está conforme a norma de desempenho.

6.3. Análise do Sistema de Cobertura.

A cobertura do empreendimento se dá por telhas de fibrocimento (6mm de espessura) com decaimento de 11% dispostas sobre uma laje nervurada em concreto armado com preenchimento em bloco de poliestireno expandido (EPS).

6.3.1. Cálculo do desempenho térmico da telha de fibrocimento

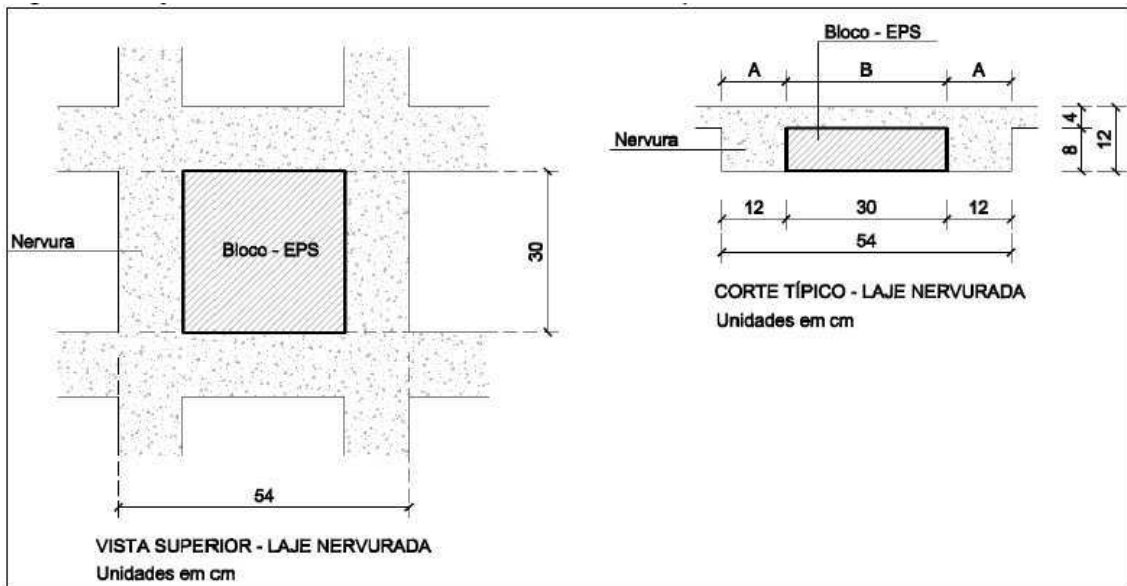
O cálculo da resistência térmica das camadas (R_t) é dado a seguir.

$$R_t = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e}{\lambda}$$

$$R_{tf} = (e_{\text{fibrocimento}}/\lambda_{\text{fibrocimento}}) (0,006/0,65) = 0,00923 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$$

6.3.2. Cálculo do desempenho térmico da laje

Figura 12 – Representação da laje.



Fonte: Silveira W., Guglielmi E. (2016).

Resistencia térmica (A): 12cm de concreto:

$$\text{Área (A)} = 0,12 \times 0,30 = 0,036 \text{ m}^2$$

$$R_a = (e_{\text{concreto}}/\lambda_{\text{concreto}}) = (0,12/1,75) = 0,06857 \text{ (m}^2\cdot\text{K) /W}$$

Resistencia térmica (B): 30 cm de concreto e EPS

$$\text{Área (B)} = 0,3 \times 0,3 = 0,09 \text{ m}^2$$

$$R_b = (e_{\text{concreto}}/\lambda_{\text{concreto}}) + (e_{\text{EPS}}/\lambda_{\text{EPS}}) = (0,04/1,75) + (0,08/0,04) = 2,0229 \text{ (m}^2\cdot\text{K) /W}$$

A resistência total do sistema e dado por:

$$R_t = \frac{2xAa + Ab}{2xAa/R_a + Ab/R_b} = \frac{2 \times 0,036 + 0,09}{2 \times 0,036 / 0,06857 + 0,09 / 2,0229} = 0,1480 \text{ (m}^2\cdot\text{K) /W}$$

6.3.3. Cálculo do desempenho térmico do sistema de cobertura

$$R_T = R_{SI} + R_{tf} + R_t + R_{SE} + R_{ar} = 0,17 + 0,00923 + 0,1480 + 0,04 + 0,63 = 0,99723 \text{ (m}^2\cdot\text{K) /W}$$

A Resistencia do ar se da a partir da Tabela 2, em que a espessura media da camada ne ar na cobertura e maior que 5cm, e o seu fluxo se dá de forma descendente.

Para o cálculo da transmitância térmica:

$$U = (1/RT) = (1/0,99723) = 1,00277 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

A absorptância térmica (α) depende da cor a ser utilizada na face externa da vedação. No empreendimento estudado a parte mais exposta é a telha de fibrocimento que apresenta uma cor clara como pode ser observado na Figura 13:

Figura 13 – Telha de fibrocimento.



Fonte: Brasilit.

Logo a cor branca e dita como uma cor clara e de acordo com a Tabela 7 tem um valor de absorptância térmica $\alpha = 0,3$.

O Fator de Ventilação (FV) do empreendimento é de 100%, visto que não existe nenhum obstáculo que obstrua a passagem de ar pelo topo da edificação, como pode ser observado na Figura 14.

Figura 14 – Condomínio esperança.



Fonte: Própria.

Os cálculos apresentados no presente estudo demonstram que o empreendimento em questão encontra-se conforme à ABNT NBR 15.575, visto que apresenta transmitância térmica da cobertura igual a $1,00277 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, a cobertura se enquadra em um desempenho I (intermediário) sendo $U \leq 1,5 \times \text{FV}$ ou $U \leq 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

6.3.4. Cálculo da capacidade térmica do sistema de cobertura

Pelo empreendimento se localizar na zona bioclimática 8, segundo a ABNT NBR 15.575-4, não há valores mínimos exigidos para capacidade térmica, como pode-se observar na tabela 4. Mas para efeitos de aprendizagem o cálculo da capacidade térmica da cobertura foi realizado, e decidiu optar-se por fazê-lo na cobertura pôr o mesmo ser um sistema disposto de maiores elementos.

Fibrocimento:

$$CTa = (\text{exc}_{\text{p}})(\text{fibrocimento}) = 0,006 \times 0,84 \times 1800 = 9,072 \text{ kj } (\text{m}^2.\text{K})$$

Concreto:

$$CTb = (\text{exc}_{\text{p}})(\text{concreto}) = 0,12 \times 1 \times 2400 = 288 \text{ kj } (\text{m}^2.\text{K})$$

Concreto e EPS:

$$CT_c = (exc_p)(concreto) + (exc_p)(EPS) = 0,04 \times 1 \times 2400 + 0,08 \times 1,42 \times 30$$

$$CT_c = 99,41 \text{ kj (m}^2\text{.K)}$$

$$CT_{bc} = \frac{2 \times A_a + A_b}{\frac{2 \times A_a}{CT_b} + \frac{A_b}{CT_c}} = \frac{2 \times 0,036 + 0,09}{\frac{2 \times 0,036}{288} + \frac{0,09}{99,41}} = 140,26 \text{ kj (m}^2\text{.K)}$$

Capacidade térmica do sistema de cobertura.

$$CT = CT_a + CT_{bc} = 140,26 + 9,072 = 149,33 \text{ kj (m}^2\text{.K)}.$$

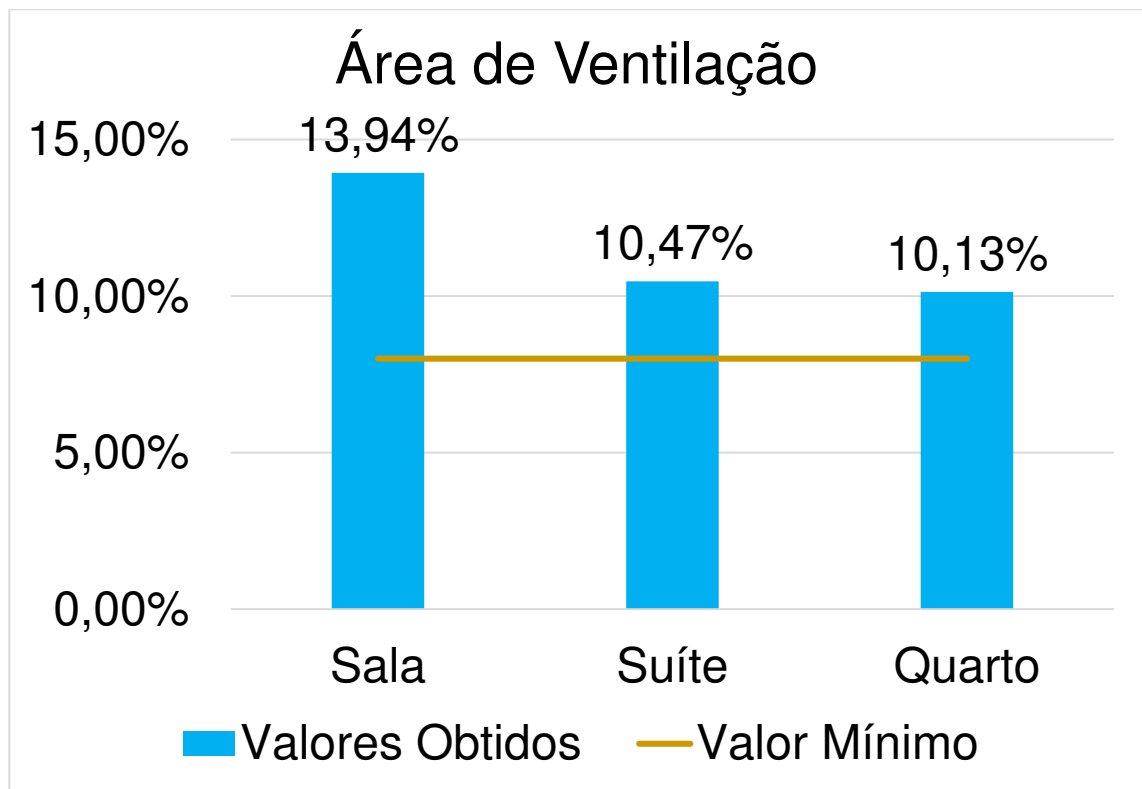
Como não existem parâmetros de comparação para a zona bioclimática 8 para se avaliar o desempenho da capacidade térmica da edificação, o presente cálculo se apresenta a título de informação, para mostrar como se deve proceder o cálculo do mesmo.

7. ANÁLISE DE DADOS

Pode se observar a partir do cálculo dos parâmetros e sua comparação pelos parâmetros propostos pela norma que a edificação apresentou um desempenho térmico satisfatório.

Quanto as áreas relativas a ventilação a norma propõe que as mesmas sejam maiores ou iguais a 8%, para as áreas de longa permanência, sendo assim, a suíte apresentou uma área de ventilação de 10,47%, a sala de 13,94% e o quarto de 10,13%, estando todas as áreas de longa permanência de acordo com a norma. Como pode ser observado no gráfico abaixo:

Gráfico 1 – Área de Ventilação.



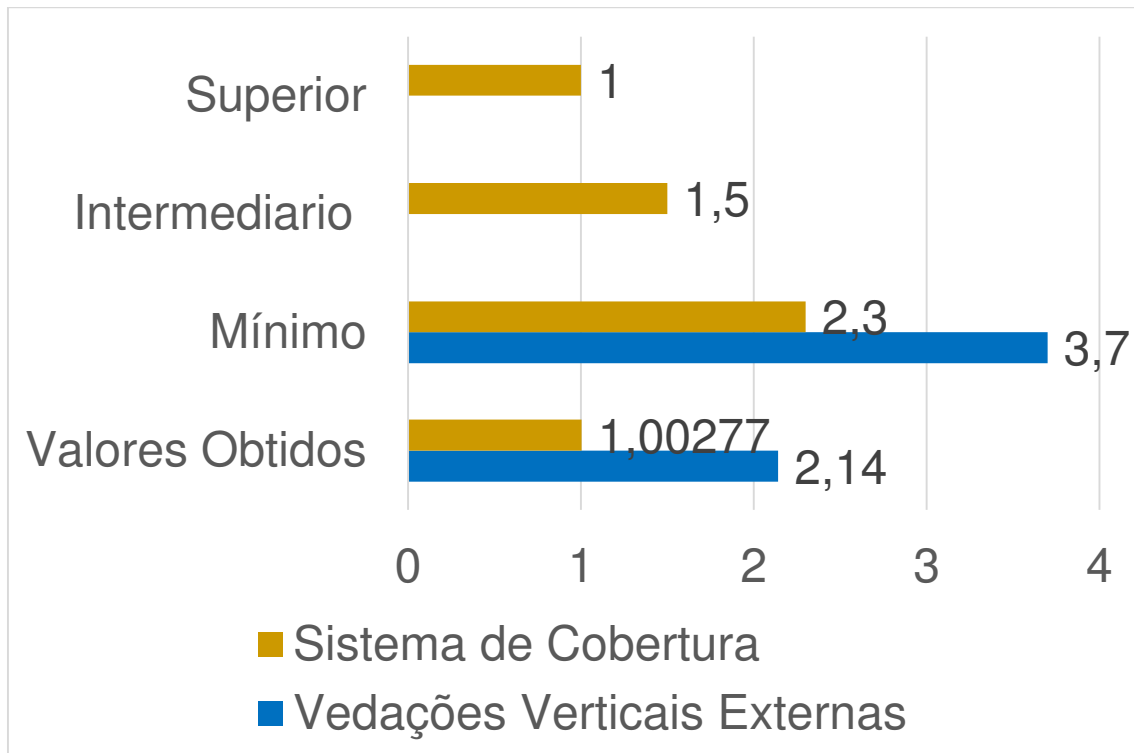
Fonte: Própria.

No que se diz respeito às vedações verticais externas, a sua transmitância térmica é de $2,14 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, o parâmetro proposto pela norma para a zona em que a cidade de Campina Grande se encontra e de que ela seja menor ou igual a $3,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, estando assim as vedações verticais externas dentro dos parâmetros, logo apresentando um desempenho térmico satisfatório.

A cobertura não apresenta nenhum obstáculo quanto a ventilação, estando livre nas quadras direções, e portanto apresentando um FV igual a 100%, quanto a transmitância térmica o valor calculado foi de $U = 0,99723 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, a norma propõe que para a zona bioclimática 8 e uma cor clara na superfície da cobertura sua transmitância térmica seja menor ou igual a $2,3 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, para um desempenho mínimo, menor que $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ para um desempenho intermediário e menor que $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ para um desempenho superior. Nota-se que por questões de milésimos a cobertura não apresentou um desempenho térmico S (superior), estando assim a cobertura com um desempenho I (intermediário).

Os valores de transmitância térmica podem ser melhor observados na tabela abaixo bem como sua comparação com o que é proposto pela norma.

Gráfico 2 – Transmitância térmica dos sistemas



Fonte: Própria.

8. CONCLUSÃO

Esse alto desempenho da cobertura se deu pela sua composição, visto que a mesma apresenta dois elementos, uma telha de fibrocimento e uma laje em concreto nervurado, que fez com que a cobertura tivesse uma alta resistência térmica o que culminou em uma baixa transmitância térmica.

Nota-se na cobertura como uma mudança na escolha no material influenciaria em seu desempenho térmico, caso a cobertura apresenta-se uma cor mais escura, como por exemplo em uma telha de fibrocimento acinzentada, a norma propõe que a transmitância térmica da cobertura teria que ser menor que $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, para que a mesma continuasse apresentando um desempenho intermediário, caso a telha fosse mais escura o desempenho térmico da cobertura cairia para o nível M (mínimo). Outro caso que pode ser observado e se a edificação apresentasse obstáculos para a circulação do vento, tomemos como exemplo que a edificação tenha a passagem livre da circulação do ar apenas em duas direções, o parâmetro proposto pela norma agora passaria a ser de $0,5 \times 2,3 = 1,15 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ para o desempenho mínimo e $0,5 \times 1,5 = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ para o

desempenho I (intermediário) , o que por sua vez com a cobertura apresentando uma transmitância térmica de $1,00277 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, estaria com um desempenho térmico mínimo e não mais intermediário.

Agora unindo essas duas mudanças, uma cobertura mais escura e um fator de ventilação menor $U \leq 1,5 \text{ FV}$, $U \leq 0,5 \times 1,5 = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, nesse cenário a cobertura apresentaria um desempenho térmico insatisfatório.

Caso esse cenário ou algum outro cenário de desempenho térmico insatisfatório viesse a se apresentar na pratica medidas teriam que ser tomadas para adequar os parâmetros da edificação aos da norma, uma das soluções seria a troca dos elementos construtivos ou a adição, como por exemplo de um isolante térmico na laje da cobertura, sua presença elevaria a resistência térmica do sistema de cobertura, o que por sua vez, reduziria o valor da transmitância térmica da mesmo, levando assim o sistema a se adequar aos parâmetros propostos pela norma.

Percebe-se que a preocupação e normatização do desempenho no país é uma iniciativa recente, tendo seu início em 2008 com o início da elaboração da ABNT NBR 15.575 - Edificações Habitacionais - Desempenho. Tal iniciativa é justificada pela necessidade do usuário de lhe ser 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.

Foram esclarecidos conceitos importantes para o entendimento do desempenho térmico de uma edificação e como eles caracterizam o empreendimento. Parâmetros como a transmitância térmica, a capacidade térmica e a área mínima de ventilação dão insumo para análise das condições relativas ao conforto térmico oferecido ao usuário. A transmitância térmica demonstra a facilidade com que o calor é transmitido através do sistema em questão, enquanto a capacidade térmica informa a quantidade de energia necessária para aumentar em uma unidade a temperatura do elemento. É necessário ter-se em conta a importância da área mínima de ventilação para o conforto do usuário, proporcionando sempre que possível a ventilação cruzada, a própria área de ventilação também se torna um meio para entrada da luz solar proporcionando uma iluminação natural do ambiente.

Através do estudo de caso, aplicou-se os conceitos disponíveis nas normas brasileiras a fim de se ter uma resposta prática para a discussão levantada. Percebeu-se

que todos os requisitos propostos pela norma ABNT NBR 15.575 de desempenho que trata do desempenho térmico foram atendidos pelo empreendimento estudado.

Sabe-se que desde o início da elaboração da norma de desempenho, passando pelo período de consulta pública, houveram modificações nos parâmetros mínimos aceitos na norma. Principalmente no que diz respeito ao conforto térmico, estes parâmetros foram rebaixados a fim de atender ao que usualmente é tido como aceitável no mercado imobiliário brasileiro atual. O autor entende a importância da ABNT NBR 15.575 como um primeiro passo no que concerne à preocupação com o desempenho das edificações, tendo por principal função despertar no setor da construção civil o hábito do conceito de desempenho. Porém, para que a norma seja realmente efetiva, em suas próximas revisões os parâmetros devem ser gradativamente melhorados com o passar do tempo e a criação de novas tecnologias e materiais construtivos.

Deve-se ter em vista as limitações desta pesquisa, sabendo-se que ela é apenas válida para cidades, que como Campina Grande, João Pessoa, Rio de Janeiro entre outras, encontram-se na zona bioclimática 8 e para empreendimentos que possuam características similares às apresentadas neste estudo. Para as demais zonas e empreendimentos indica-se a confecção de novos estudos a fim de verificar o desempenho térmico destas edificações.

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

No que concerne à utilização da ABNT NBR 15.220 – Desempenho Térmico de Edificações, não houve dificuldades relativas ao seu entendimento. Sendo provida de diversos exemplos ilustrativos para a maior parte das tipologias construtivas encontradas em cenário nacional. Nela são encontradas diversas estratégias e recomendações para o tratamento térmico das edificações, separados por zona bioclimática, ajudando a concepção de projetos voltados para a climatologia local.

Por fim, o autor sugere a confecção de novos estudos sobre desempenho térmico utilizando zonas bioclimáticas distintas e principalmente empreendimentos de baixo custo, a fim de verificar o que está sendo produzido neste padrão.

9. REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.220: Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

BÉRGAMO, L. R., **Norma de desempenho estimula mudanças na grade curricular e na estrutura dos cursos formação de engenheiros e arquitetos**. [S. l.]: Construção, 2014. Disponível em: < <http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/155/norma-de-desempenho;-norma;-desempenho;-abnt;-norma-tecnica;-curso;-formacao;-312953-1.aspx> > Acesso em: 04 mar. 2018.

BORGES, C. A., **O significado de desempenho nas construções**. [S. l.]: Construção, 2010. Disponível em: < <http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/103/norma-de-desempenho-o-significado-de-desempenho-nas-edificacoes-282364-1.aspx> > Acesso em: 05 mar. 2018.

BRUNA, M. S. S., **Avaliação do desempenho térmico em projeto de unidade habitacional multifamiliar com base na metodologia da ABNT NBR 15.220/2005 e nos requisitos da ABNT NBR 15.575/2013**. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC. **Guia Orientativo para atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013**. Brasília, CBIC, 2013.

ISO, International Organization for Standardization. **ISO 7726 – Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities**. 2 ed. Genebra, 1998.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. O. R., 2004, **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2 ed. São Paulo, Pro Livros.

MATOZINHOS, R, **NBR 15575 edifícios habitacionais – desempenho**. Belo Horizonte, SINDUSCON-MG, 2014.

OLYGAY V. [S. l.] **Application of climatic data to house design**. The Arizona State University Solar Energy Colletion, 1973.

RAMOS A., [S. l.] **Diccionario de la Natureza**. French & European Publications, Incorporated, 1987.

Willian S., Elaine G., 2016, **Avaliação do desempenho térmico de lajes maciças e nervuradas, destinadas a lajes de cobertura, segundo a NBR 15.575:2013 e NBR 15.220:2005**. Santa Catarina, UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2016.

ANEXOS

ANEXO A – Propriedades térmicas dos materiais, ABNT 15.220-2, 2005, p. 39

ANEXO B – Absortância e emissividade, ABNT 15.220-2, 2005, p. 41

ANEXO A

Tabela B.3 – Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico de matérias.

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (K.j/(Kg.K))
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
Cêramica			
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	0,64
	1400-1600	0,65	0,64
Concreto (com agregados de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
	1700-2100	1,40	1,00
concreto cavernoso			
Concreto com pozolona ou escória expandida com estrutura cavernosa (ρ dos inertes ~750kg/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 do cimento >300kg/m ²	1600-1800	1,05	1,00
ρ dos inertes > 350kg/m ²	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00

Tabela B.3 (Continuação) – Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico de matérias

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (K.j/(Kg.K))
dosagem do cimento < 250kg	800-1000	0,33	1,00
ρ dos inertes < 350kg/m ²	600-800	0,25	1,00
	<600	0,20	1,00
Concreto de vermiculite	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 com massa aparente elevado	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve			
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
Impermeabilizantes			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
	2300	1,15	0,92

Tabela B.3 (Continuação) – Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico de matérias

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (K.j/(Kg.K))
betume asfaltico	1000	0,17	1,46
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido	15-35	0,040	1,42
poliestireno estrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rigida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
Madeiras e derivados			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de particulas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim santa fé)	200	0,12	

Tabela B.3 (Continuação) – Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico de matérias

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (K.j/(Kg.K))
Metais			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38

ANEXO B

Tabela B-2. Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações e 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
Caiação nova	0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84

Fonte: ABNT NBR 15.220