

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Arquitetura e Design
Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao
Ambiente Construído

Ludmila Dias Oliveira

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
TÉRMICO DA ABNT NBR 15575 COM ÊNFASE EM HABITAÇÃO DE INTERESSE
SOCIAL.**

Belo Horizonte

2018

Ludmila Dias Oliveira

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
TÉRMICO DA ABNT NBR 15575 COM ÊNFASE EM HABITAÇÃO DE INTERESSE
SOCIAL.**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído, do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, da Escola de Arquitetura e Design, da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído.

Orientadora: Profa. Dra. Eng. Ana Carolina de Oliveira Veloso.

Belo Horizonte

2018

Minha gratidão a Deus, meu guia e escritor do meu destino,
conhecedor de todos os meus desejos e anseios. A todos que
contribuíram de alguma forma para a realização desse
trabalho, meu muito obrigada!

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Ebis e Lucirema; e meu irmão Matheus, por depositarem orgulho em cada passo dado. Ao meu companheiro de vida, Fábio, por sua paciência e disponibilidade.

Aos professores e coordenação do curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído, da Universidade Federal de Minas Gerais, pela paciência e conhecimento compartilhado.

A orientadora desse trabalho, Profa. Dra. Eng. Ana Carolina de Oliveira Veloso, por sua contribuição e ensinamentos. Além dos participantes da banca de avaliação, Patrícia Santos e Caio Gomes, pelos comentários realizados e colaboração.

Aos amigos que conheci durante o curso e fizeram parte dessa caminhada, obrigada pelas dicas, conversas, parcerias e aprendizado partilhado.

“Além de sua sustentabilidade e de sua inteligência, a Arquitetura deve ser uma
fábrica de emoções.”

Renzo Piano

RESUMO

Em 1985 surge o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), sendo a primeira normativa que busca a melhoria de eficiência energética. Ocorre então, uma evolução em torno da preocupação com a eficiência térmica também das edificações, buscando racionalizar o uso da matriz energética e torna-las mais confortáveis aos usuários, surgindo em 2003 a ABNT NBR 15220, e em 2008 a ABNT NBR 15575, sendo revista e publicada em 2013. A criação da ABNT NBR 15575 representa um grande esforço para se conseguir habitações de alto desempenho, ela determina padrões a serem seguidos pelas edificações, definindo assim o seu nível de desempenho, e tem sido alvo de grande estudo e discussões. Nesse trabalho, procurou-se através da revisão bibliográfica, analisar os estudos realizados em torno do desempenho térmico de habitações de interesse social, entre os anos de 2012 a 2018, por ser uma tipologia comumente construída no país. Os autores estudados para a composição de tal trabalho, recomendam em sua grande maioria, uma nova revisão da ABNT NBR 15575, demonstrando que ela não contempla fatores que podem influenciar no resultado obtido. O estudo aponta que os valores de desempenho térmico apresentam resultados em desacordo entre seus métodos de verificação, sendo defendida assim, uma nova metodologia, mais segura e que demonstre o comportamento térmico da edificação ao longo de sua vida útil.

Palavras chave: ABNT NBR 15575; habitação de interesse social; procedimento simplificado; método de simulação; desempenho térmico.

ABSTRACT

In 1985 comes up the PROCEL (National Program for the Conservation of Electric Energy), being the first regulation which seeks to improve energy efficiency. There is then, an evolution around the concern with the thermal efficiency also of buildings, seeking to rationalize the use of the energy matrix and makes them more comfortable for users, appearing in 2003 the ABNT NBR 15220 comes up, and in 2008 the ABNT NBR 15575, being revised and published in 2013. The creation of ABNT NBR 15575 represents a great effort to achieve high performance housing, it determines standards to be followed by buildings, thus defining your performance level, and has been the subject of great study and discussions. In this work, used the bibliographic review, analyze the studies performed on the thermal performance of social housing, between the years of 2012 to 2018, for being a typology commonly built in the country. The authors studied for the composition of such work, most recommend a new revision of ABNT NBR 15575, demonstrating that it does not contemplate factors that may influence the result obtained. The study indicates that the values of thermal performance present results in disagreement between their methods of verification, being thus defended, a new methodology, more secure and that demonstrates the thermal behavior of the building throughout its useful life.

Keywords: ABNT NBR 15575; housing of social interest; simplified procedure; simulation method; thermal performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Zoneamento bioclimático brasileiro.....	21
Figura 2: Avaliação de desempenho térmico através do procedimento simplificado.....	23
Figura 3: Valores limites para as propriedades termofísicas das paredes exteriores e da cobertura, segundo o procedimento simplificado da ABNT NBR 15575.....	23
Figura 4: Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.....	25
Figura 5: Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.....	25
Figura 6: Avaliação de desempenho térmico através do método de simulação.....	26
Figura 7: Transmitância térmica de paredes externas.....	27
Figura 8: Capacidade térmica de paredes externas.....	27
Figura 9: Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar.....	27
Figura 10: Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica.....	28
Figura 11: Sínteses das análises conduzidas em cada etapa.....	29
Figura 12: Modelo da habitação de interesse social e orientações em relação ao norte	30
Figura 13: Características das paredes externas e das coberturas simuladas.....	31
Figura 14: Características construtivas das habitações mantidas fixas nas simulações.....	31
Figura 15: Relação da variação de temperatura interior x transmitância térmica no verão.....	38
Figura 16: Relação da variação de temperatura interior x transmitância térmica no verão.....	40
Figura 17: Síntese dos resultados encontrados através do método de simulação no verão.....	41
Figura 18: Relação da variação de temperatura interior x transmitância térmica no inverno.....	43

Figura 19: Relação da variação de temperatura interior x transmitância térmica no inverno.....	44
Figura 20: Síntese dos resultados encontrados através do método de simulação no inverno.....	45
Figura 21: Relação da variação de temperatura interior x transmitância térmica para paredes externas com alta capacidade térmica.....	45
Figura 22: Metodologia utilizada na pesquisa de Gouveia et al.....	48
Figura 23: Planta baixa da habitação T-2 utilizada na pesquisa.....	49
Figura 24: Características construtivas da habitação social de estudo.....	49
Figura 25: Critério de transmitância térmica (U) para paredes externas.....	50
Figura 26: Desempenho das paredes externas de acordo com o critério de aberturas para ventilação.....	51
Figura 27: Desempenho da cobertura de acordo com o critério de transmitância térmica (U).....	51
Figura 28: Síntese dos resultados encontrados por Gouveia et al, através do procedimento simplificado.....	52
Figura 29: Croqui em 3D da unidade habitacional e zonas térmicas simuladas.....	53
Figura 30: Coordenadas geográficas e dados dos dias típicos de verão para Belém-PA.	53
Figura 31: Relação das temperaturas para a parede de concreto na fachada leste (sala).....	54
Figura 32: Relação das temperaturas para a parede de concreto na fachada oeste (quarto).....	55
Figura 33: Relação das temperaturas para a parede de alvenaria com blocos cerâmicos na fachada leste (sala).....	56
Figura 34: Relação das temperaturas para a parede de alvenaria com blocos cerâmicos na fachada oeste (quarto).....	56
Figura 35: Síntese dos resultados encontrados por Gouveia et al, através do método de simulação.....	57
Figura 36: Valores de absorptância, transmitância e capacidade térmica adotados para a edificação avaliada pelo procedimento simplificado.....	61
Figura 37: Capacidade térmica das paredes dada as zonas bioclimáticas.....	61

Figura 38: Recomendações feitas em pesquisa por Lamberts et al, versus o que a Norma contempla em seu modelo atual.....	62
Figura 39: Relação entre as sugestões de diretrizes que deveriam ser incorporadas a ABNT NBR 15575, e os autores que às indicaram.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Nível de desempenho alcançado para os materiais simulados, na zona bioclimática 1.....	33
Tabela 2: Nível de desempenho alcançado para os materiais simulados, na zona bioclimática 3.....	34
Tabela 3: Nível de desempenho alcançado para os materiais simulados, na zona bioclimática 3.....	35
Tabela 4: Nível de desempenho alcançado para os materiais simulados, na zona bioclimática 8.....	36
Tabela 5: Nível de desempenho alcançado para os materiais simulados, na zona bioclimática 8.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A - Área

Aa - Área do Ambiente

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Ap - Área de Piso

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CEF – Caixa Econômica Federal

Cob - Cobertura

CT – Capacidade Térmica

FGTS – Fundo de Garantia por Tempo de Serviço

FV – Fator de Ventilação

FT – Fator de Correção

MCMV – Minha Casa Minha Vida

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PAC – Plano de Aceleração do Crescimento

Par - Parede

PNDU – Política Nacional de Desenvolvimento Urbano

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PVC – Policloreto de Vinil

Te: Temperatura Externa

Ti: Temperatura Interna

U – Transmitância Térmica

LISTA DE SÍMBOLOS

α – Absortância a Radiação Solar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	JUSTIFICATIVA.....	16
3	OBJETIVO.....	16
3.1	OBJETIVOS GERAIS.....	16
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4	FERRAMENTAS E MÉTODOS.....	17
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
5.1	História da habitação no Brasil.....	17
5.2	Programas habitacionais brasileiros: o surgimento das habitações de interesse social.....	18
5.3	Conceito de desempenho e conforto térmico e sua aplicação às habitações de interesse social.....	19
5.4	Zoneamento bioclimático de acordo com a ABNT NBR 15220.....	20
5.5	Requisitos de desempenho térmico da ABNT NBR 15575.....	21
5.5.1	ABNT NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais.....	22
5.5.2	Procedimento simplificado.....	22
5.5.3	Método de simulação.....	24
5.5.4	NBR 15575-4: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE.....	26
5.5.5	NBR 15575-5: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas.....	27
6	Aplicações dos métodos de avaliação de desempenho térmico em habitações de interesse social segundo a ABNT NBR 15575 – revisão bibliográfica.....	28
6.1	Pesquisa realizada pela autora Karin Maria Soares Chvatal: Avaliação do Procedimento Simplificado da NBR 15575 para Determinação do Nível de Desempenho Térmico de Habitações.....	28
6.1.1	Objetivo.....	28
6.1.2	Objetivos específicos.....	28
6.1.3	Metodologia.....	29
6.1.4	Modelo da habitação de interesse social e localização.....	29
6.1.5	Características construtivas.....	30
6.1.6	Características da modelagem.....	31
6.1.7	Etapa 1 - influência da transmitância térmica e da absorvância da envolvente no nível de desempenho da edificação.....	32
6.1.8	Desempenho térmico no verão: temperatura na sala de estar da edificação – Resultado obtido através do procedimento simplificado.....	32
6.1.9	Desempenho térmico no verão: temperatura na sala de estar da edificação – Resultado obtido através do método de simulação.....	38
6.1.10	Relação entre os resultados obtidos no procedimento simplificado e no método de simulação, para o desempenho térmico no verão.....	41
6.1.11	Desempenho térmico no inverno: temperatura no quarto da edificação - Resultado obtido através do procedimento simplificado.....	43
6.1.12	Desempenho térmico no inverno: temperatura no quarto da edificação – Resultado obtido através do método de simulação.....	43
6.1.13	Etapa 2: influência da capacidade térmica das paredes exteriores no nível de desempenho da habitação, no verão e no inverno.....	45

6.2	Pesquisa realizada pelos autores Fernanda Pereira Gouveia e Marlon Braga dos Santos: Análise do Desempenho Térmico de Habitações de Interesse Social Construídas em Paredes de Concreto: Um Estudo de Caso em Tucuruí-PA.....	46
6.2.1	Objetivo.....	46
6.2.2	Objetivos específicos.....	47
6.2.3	Metodologia.....	47
6.2.4	Modelo da habitação.....	48
6.2.5	Características construtivas.....	49
6.2.6	Verificação através do procedimento simplificado.....	50
6.2.7	Requisitos de desempenho térmico para vedações verticais.....	50
6.2.8	Requisitos de desempenho térmico para aberturas para ventilação.....	50
6.2.9	Requisitos para cobertura.....	51
6.2.10	Verificação através do método de simulação.....	52
6.2.11	Características da modelagem.....	52
6.2.12	Relação entre os resultados obtidos no procedimento simplificado e no método de simulação, para o desempenho térmico no verão.....	57
6.3	Pesquisa realizada pelos autores Ana Paula Melo; Deivis Luis Marinowski; Marcio José Sorgato; Roberto Lamberts: Avaliação de Desempenho Térmico pela Norma NBR 15575 em Consulta Pública em 2012 – Proposta para o Método de Simulação da Norma de Desempenho NBR 15575.....	58
6.3.1	Objetivo.....	58
6.3.2	Objetivos específicos.....	58
6.3.3	Metodologia.....	58
6.3.4	Habitação sob avaliação pelo método de simulação proposto.....	58
6.3.5	Programa de simulação.....	58
6.3.6	Arquivo climático.....	59
6.3.7	Características e orientação do projeto.....	59
6.3.8	Premissas para edificações multifamiliares.....	59
6.3.9	Sombreamento.....	60
6.3.10	Cargas internas do ambiente simulado.....	60
6.3.11	Habitação aprovada por avaliação pelo procedimento simplificado.....	60
7	Comparação entre os resultados demonstrados no estudo da revisão bibliográfica.....	63
8	Conclusão.....	67
	REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

Muito tem se falado sobre a importância do adequado desempenho das edificações, tanto para proporcionar qualidade de vida e conforto aos usuários, como para promover uma maior vida útil à construção. Segundo Alvarez *et al* (2013) procurando melhorar a eficiência energética, surge no Brasil em 1985, o PROCEL, afim de racionalizar a produção e consumo de energia elétrica. Em 2005 surge a primeira Norma que trata do desempenho térmico das edificações, a ABNT NBR 15220 (CHVATAL, 2014).

Com o intuito de melhorar a qualidade das edificações habitacionais, surge em 2008 a primeira versão da ABNT NBR 15575. Em 2013 a Norma passou por uma revisão, já que, segundo Chvatal (2014), o mercado se disse incapaz de implantar as mudanças impostas. Com as alterações realizadas, a Norma passa a vigorar em 19 de julho de 2013. Seu objetivo é avaliar e regulamentar o setor da construção civil, garantindo um padrão mínimo de qualidade e desempenho das edificações residenciais (CALAZANS, 2016). A Norma também tem como diretriz, promover condições de conforto aos usuários e reduzir o consumo de energia gasto para condicionar artificialmente os ambientes.

Segundo Chvatal (2014), a norma não delimita um número mínimo de pavimentos para sua adoção, e tampouco indica os parâmetros construtivos do projeto, mas sim, os requisitos de desempenho que devem ser atendidos, procurando satisfazer as necessidades dos usuários.

Em torno do desempenho térmico, tema de estudo do presente trabalho, a ABNT NBR 15575 estabelece valores para ganho e perda de calor e frio nas vedações externas e internas, e cobertura da edificação, estabelecendo valores limitantes para as características termo físicas de transmitância térmica, absorvância à radiação solar e capacidade térmica (ASSIS *et al*, 2017). Para verificar o desempenho térmico da edificação, a ABNT NBR 15575 propõe a avaliação partir de três métodos: procedimento simplificado, método de simulação, e medição *in loco*.

Nessa pesquisa será analisado, a partir de revisão bibliográfica, se os métodos propostos são de fato eficientes para determinar o desempenho térmico da edificação. Será mostrado que os autores defendem uma nova e ampla discussão sobre a eficácia da Norma, e indicam um melhoramento da mesma.

O foco desse trabalho é o estudo da aplicação dos métodos em habitações de interesse social, pois como demonstra Chvatal (2014), tal tipologia possui certa simplicidade, e por isso o método simplificado proposto na ABNT NBR 15575-4/5 deveria ser capaz de demonstrar o atendimento ou não dos requisitos solicitados na Norma.

O governo vem investindo ao longo dos anos na construção de habitações de interesse social destinadas a famílias de baixa renda, de modo a diminuir o déficit habitacional no Brasil, utilizando mecanismos como o Programa Minha Casa Minha Vida. O programa tem como premissa a produção numerosa de habitações, o que faz com que seja de suma importância analisar o desempenho térmico dessas habitações (GOUVEIA *et al*, 2016).

Assis *et al* (2007), evidenciam que uma ferramenta para solucionar a ausência de "qualidade ambiental da moradia de interesse social é o desenvolvimento de projetos e sistemas construtivos adequados ao clima local, utilizando os recursos naturais de insolação, iluminação e ventilação".

De acordo com Alvarez *et al* (2013) é de suma importância o conforto térmico para a satisfação do usuário, pois quando um ambiente lhe é desconfortável, são tomadas medidas para torna-lo mais agradável, como por exemplo, utilizando o ar condicionado ou aquecedor de ambientes, aumentando o consumo energético e gasto econômico.

2 JUSTIFICATIVA

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC¹), o déficit habitacional brasileiro correspondia a 6.186.503, deste total, 83,9% se encontrava na faixa salarial de até três salários mínimos. Procurando resolver as questões de déficit habitacional no país, o governo cria em 2009, o maior programa habitacional já existente: o Programa Minha Casa Minha Vida, que tem por objetivo a construção de habitações voltadas para a população de baixa renda (AMORIN *et al*, 2016). O programa segundo Moreno *et al* (2011), tem também como premissa combater a carência e a precariedade das habitações que a população carente vinha se instalando.

Com o propósito de obter habitações com maior desempenho, surge em 2013 a ABNT NBR 15575, a partir de seu surgimento, as construções passaram a ter que cumprir um padrão mínimo e específico de desempenho (NASCENTES, 2011). Sousa (2014) define que o conforto térmico da edificação é um lucro obtido pelo consumidor, e que está diretamente ligado à satisfação do mesmo para a realização de suas tarefas diárias, ajudando até mesmo na manutenibilidade do edifício.

De acordo com Sousa (2014) com a crescente demanda construtiva de habitações de interesse social, o mercado teve de acelerar o processo de construção e diminuir os custos para que tal crescimento acontecesse, o que por vez, gerou uma queda na qualidade das edificações. Desse modo, é necessário compreender as questões em torno desse rápido crescimento do mercado, e buscar atender o desempenho mínimo das novas habitações a serem construídas (SOUSA, 2014).

Em um país na qual a habitação social recebe um alto investimento tanto público quanto privado, e surge como objeto para resolver o problema de falta de moradia, sobre tudo para pessoas de baixa renda, faz-se necessário saber se, de fato, a habitação entregue faz jus à obrigatoriedade, garantindo que os investimentos sejam bem empregados.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

¹ CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção: déficit habitacional total de 2015 conforme dados da Fundação João Pinheiro em parceria com o Ministério das Cidades.

O objetivo do presente trabalho é, através de revisão de literatura, investigar como se dá a avaliação do requisito desempenho térmico proposto pela ABNT NBR 15575, em edificações em fase de projeto, sobre tudo no âmbito das habitações de interesse social. Será analisado se os métodos propostos pela Norma para tal verificação possuem coerência entre si, se precisam ser revisados, ou se demonstram de fato o potencial desempenho das edificações.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar se os autores e obras estudadas, apontam haver incoerências nos procedimentos utilizados para classificação do nível de desempenho térmico das edificações em fase de projeto expostos na ABNT NBR 15575/1-4-5, sobre tudo, as habitações de interesse social;
- Analisar, a partir dos resultados encontrados por esses autores em suas pesquisas, quais as revisões são propostas para a ABNT NBR 15575/1-4-5.

4 FERRAMENTAS E MÉTODOS

O estudo se pautará em uma metodologia teórica, realizada através de revisão bibliográfica.

O método utilizado para revisão teórica envolve pesquisas bibliográficas, realizadas por intermédio do estudo de artigos, monografias, teses e livros, que darão contribuição de modo geral ao trabalho. A partir de tal pesquisa, será possível realizar uma análise que demonstre o resultado obtido pelos autores estudados, através da descrição de seus trabalhos e exposição dos resultados obtidos pelos mesmos.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 História da habitação no Brasil

Os problemas gerados pela ocupação informal de terra produzem efeitos diretos na qualidade de vida de toda a população. Há um crescente desenvolvimento urbano informal não somente nas grandes cidades, mas também nas de médio e pequeno porte. Dados atuais mostram que na América Latina, 75% da população vive na área urbana, sendo que desse percentual, 25 % vive em assentamentos informais (FERNANDES, 2006).

O crescimento das taxas de ocupação informal, entendida aqui como moradias nas chamadas favelas, pode ser explicado pela grande dificuldade encontrada pela população de baixa renda em adquirir um imóvel pelos meios legais, a qual esbarra na legislação brasileira, considerada arcaica e excludente das classes mais pobres. Assim, o meio informal se torna uma oferta de fácil acesso para aqueles que não conseguem uma moradia de maneira formal.

Apesar da prática garantir a moradia de comunidades carentes dentro do ambiente urbano, uma vez que foram excluídas pelo sistema de governo, Fernandes (2006) e Azevedo Jr. (2009) alertam que a prática não deve ser estimulada, pois gera problemas para a sociedade como um todo, produzindo cidades caras e fragmentadas, além de encarecer os custos das políticas de regularização fundiária, de terras e serviços.

Assim, um dos principais problemas não é apenas o de oferta de moradia a custo compatível com a renda dessas famílias, mas o de viabilizar o acesso delas à infraestrutura de abastecimento de energia e água, fixando essas famílias, diminuindo a proliferação de assentamentos precários, como favelas (ASSIS *et al*, 2007).

5.2 Programas habitacionais brasileiros: o surgimento das habitações de interesse social

Segundo Moreno (2013), o surgimento de políticas referentes a questão habitacional se deu em 1.930 no governo Vargas, quando o Estado passa a criar políticas públicas para sanar o déficit habitacional pertinente da época, criando programas de ação para custear a produção de habitações populares.

Ainda segundo Moreno (2013), vários órgãos foram criados com o intuito de gerir as questões habitacionais e as soluções propostas, os de maior importância foram o Sistema Financeiro de Habitação (FSH) e o Banco Nacional de Habitação (BNH), que tinham como função gerir os recursos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS), o qual o montante era direcionado para o financiamento de habitações.

Porém, esses órgãos encerram suas atividades em 1986, e hoje os recursos da habitação são administrados pela Caixa Econômica Federal (CEF) e bancos privados. Posteriormente, surge o Ministério das Cidades, em 2003, que aliados a Política Nacional de Desenvolvimento Urbano (PNDU) e ao Plano de Aceleração do Crescimento (PAC), criado em 2007, faz crescer o investimento e produção de habitações de interesse social (MORENO, 2013).

No início dos anos 2000, o Brasil viveu um grande crescimento econômico e por consequência uma certa estabilidade financeira, com a melhoria nos índices macroeconômicos no país e a crescente capitalização vivida, o setor da construção civil abriu capital para diversas construtoras e incorporadoras, o que fez com que tal mercado se expandisse de forma estrondosa (SABBATTINI, 2008).

Foi a partir dos caminhos delineados por esta diretriz, que surgiu um dos principais programas habitacionais da história brasileira, o PMCMV², criado na esfera federal do governo, gerido pelo Ministério das Cidades e operacionalizado pela CEF. (Moreno, 2013).

Em 2009 surge com o objetivo de eliminar o déficit habitacional no país, o Programa Minha Casa Minha Vida, destinado a construção de unidades habitacionais para a população de baixa renda (AMORIM *et al*, 2016). “Para esse tipo de imóvel o fator

² Minha Casa Minha Vida.

custo é de fundamental importância e no programa MCMV o valor de venda do imóvel é um limitador para o financiamento pelo banco responsável, a CAIXA.” (AMORIM *et al*, 2016).

Percebe-se que a criação de políticas públicas, foi de suma importância para que o país oferecesse moradia à população de baixa renda, porém, com o lucro gerado pelo setor, as moradias passaram a ser construídas em série e muitas vezes, sem preocupação com as questões ambientais e culturais locais.

As interpretações coletivas dos padrões de moradia individual devem ser abandonadas. Precisamos agora de uma diversidade de espaço em que as diversas funções possam ser sublimadas para que se tornem formas arquetípicas, que tornem as interpretações individuais do padrão de moradia comunitário possíveis em virtude de sua capacidade de acomodar, absorver e, na verdade, de induzir cada uma das funções e das alterações desejadas (HERTZBERGER, 1999)

5.3 Conceito de desempenho e conforto térmico e sua aplicação às habitações de interesse social

O conceito de temperatura pode ser entendido através da transmissão de calor de um meio para outro, que, segundo Lamberts *et al* (2014), pode ser dividido em três fases: troca de calor com o meio exterior por convecção e radiação; posteriormente ocorre a condução de calor através da envoltória, pela diferença de temperatura externa e interna, ocorrendo assim, uma troca de calor entre elas; e por último, por troca de calor com o meio, nesse caso as trocas térmicas acontecem novamente por convecção e radiação.

Para Carvalho (2012), conforto térmico é a análise do quão confortável é determinado espaço para o usuário, e está diretamente ligado à inserção geográfica e ao atendimento de premissas de conforto ambiental, no caso desse estudo, determinado através de normatização.

As condições de conforto térmico dependem diretamente de vários aspectos, sejam eles de natureza locais: topografia, temperatura, umidade do ar, direção e velocidade dos ventos; das características da edificação: materiais constituintes, número de pavimentos, dimensão dos cômodos, pé direito, orientação das fachadas dentre outros; ou de condições humanas: atividades no interior do imóvel, quantidade de mobília, vestimentas, idade e peso, condições fisiológicas e psicológicas. Adequando as habitações de acordo com a condição de ventilação e insolação dos ambientes (CBIC, 2013).

Lima (2014) define que para proporcionar conforto térmico aos usuários das habitações em suas atividades diárias, é de extrema importância que os ambientes obtenham desempenho térmico adequado às características climáticas das regiões onde estão implantadas.

Adequar a arquitetura ao clima de um determinado local significa construir espaços que possibilitem ao homem condições de conforto [...]. À arquitetura cabe, tanto amenizar as sensações de desconforto impostas por climas muito rígidos, tais como os de excessivos calor, frio ou ventos, como também propiciar ambientes que sejam, no mínimo, tão confortáveis como os espaços ao ar livre em climas amenos. (Schiffer e Frota, 2006)

Segundo Fabrício *et al* (2010) o estudo em torno do conforto térmico das edificações tornou-se mais discutido, a partir da criação da ABNT NBR 15575, quando “a promulgação do Código de Defesa do Consumidor [...] determinou que os usuários consumidores devam ser atendidos satisfatoriamente quanto ao ambiente concebido e em uso, ou seja, com qualidade.”

As avaliações de desempenho buscam minimizar erros e aproximar a concepção projetual dos desejos efetivos dos usuários nas fases iniciais do projeto [...] até os insumos realimentadores da etapa de Avaliação Pós Ocupacional (APO) [...] (Fabrício et al, 2010)

Gouveia *et al* (2016) defendem que o uso de ferramentas de avaliação em habitações de interesse social é de extrema importância, uma vez que nesse tipo de construção, o custo deve ser baixo sem gerar perdas nos padrões exigidos pelos órgãos financiadores, e das normas exigidas para esse tipo de empreendimento.

Desta forma, se por um lado o atendimento à quantidade de habitações de interesse social tem sido intensificado por meio do Programa Minha Casa Minha Vida, por outro lado, os meios de avaliação da qualidade da habitação para o usuário final continuam precários. A norma de desempenho, publicada e em vigor desde 2013 vem preencher a lacuna de um desempenho mínimo a ser apresentado pela habitação. Em relação às habitações de interesse social, o desafio consiste em atender as exigências da norma mantendo-se o custo de construção reduzido. (GOUVEIA *et al*, 2016).

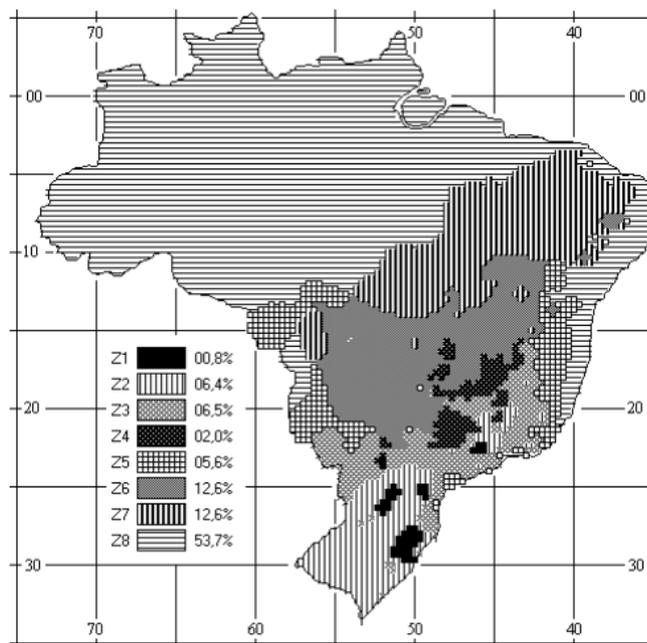
5.4 Zoneamento bioclimático de acordo com a ABNT NBR 15220

A ABNT NBR 15220 é a normatização que trata de desempenho térmico no Brasil, sendo ela, responsável pelos métodos de cálculos utilizados na ABNT NBR 15575, para definir os valores mínimos a serem cumprido pela Norma.

Subdivida em cinco partes, a ABNT NBR 15220 fornece símbolos, unidades e termos para uso, além de referenciar os cálculos que deverão ser utilizados para calcular todos os parâmetros de desempenho térmico que a ABNT NBR 15575 possui. Nesse trabalho, utiliza-se para definição da zona bioclimática de estudo, a parte três de Norma: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas pra habitações unifamiliares de interesse social. E para realizar os cálculos de propriedades térmicas dos materiais que constituem a habitação, utiliza-se a parte dois da Norma: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.

A ABNT NBR 15220-3 divide o território brasileiro em oito zonas de acordo com o clima predominante, “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” (SOUSA, 2014).

Figura 1: Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT, NBR 15220-3.

O objetivo da parte 3 da Norma, é verificar os requisitos e soluções propostas para garantir o desempenho térmico de determinada edificação, como:

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

Demonstradas as diretrizes a serem cumpridas pela ABNT NBR 15220/2-3, faz-se necessária uma contraposição dos dados obtidos também na ABNT NBR 15575/4-5 e uma conformação entre eles para que chegue na melhor solução de desempenho térmico possível.

5.5 Requisitos de desempenho térmico da ABNT NBR 15575

A ABNT NBR 15575 determina o desempenho dos sistemas que compõe as edificações residenciais, e o seu comportamento em uso ao longo de sua vida útil. Para tal, são estabelecidos três níveis de desempenho, classificados quanto à segurança, saúde, economia e higiene: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S), os quais “o nível M deve ser entendido como condição obrigatória” (ABNT NBR 15575, 2013).

A ABNT NBR 15575 como explica Alvarez *et al* (2013), determina requisitos a serem cumpridos para definir o nível de desempenho de uma habitação, em diversos quesitos, entre eles o desempenho térmico.

A norma divide-se em seis partes:

- ABNT NBR 15575-1: requisitos gerais;
- ABNT NBR 15575-2: requisitos para os sistemas estruturais;
- ABNT NBR 15575-3: requisitos para os sistemas de pisos internos;
- ABNT NBR 15575-4: sistemas de vedação verticais externas e internas;
- ABNT NBR 15575-5: requisitos para sistemas de coberturas;
- ABNT NBR 15575-6: sistemas hidrossanitários.

Dentro dos sistemas a serem analisados, é necessário verificar os requisitos do usuário quanto à segurança, habitabilidade e sustentabilidade, distribuídos da seguinte forma: Segurança no uso e operação; Estanqueidade; Desempenho térmico; Desempenho acústico; Desempenho lumínico; Durabilidade e manutenibilidade; Saúde, Higiene e qualidade do ar; Funcionalidade e acessibilidade. Para estudo, nesse trabalho será abordado o requisito do usuário Desempenho térmico.

A parte da Norma que disserta em torno do desempenho térmico não trata do condicionamento artificial das edificações, levando em consideração as condições naturais de insolação, ventilação e outras para determinar as condições de conforto térmico a serem atendidas (CBIC, 2013).

A Norma estabelece ainda, o cumprimento de requisitos para desempenho térmico em suas partes 1, 4 e 5 como demonstrado a seguir.

5.5.1 ABNT NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais

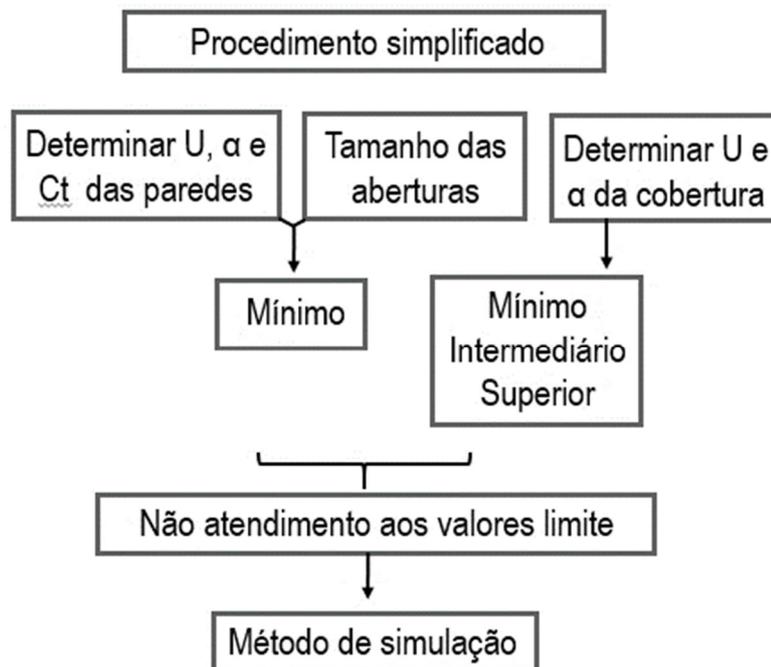
As exigências de desempenho térmico a serem cumpridas através da aplicação da ABNT NBR 15575, é dada pela localização da edificação em relação à zona bioclimática definida pela ABNT NBR 15220-3. Assim, a Norma estabelece os seguintes procedimentos para verificação de desempenho térmico: procedimento normativo simplificado através do atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas (ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5); ou simulação computacional; e outro procedimento informativo de medição, através do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos nesta ABNT NBR 15575-1, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos (ABNT, 15575-1, 2013).

5.5.2 Procedimento Simplificado

No procedimento normativo simplificado, segundo a ABNT NBR 15575-1, deve-se avaliar o cumprimento dos requisitos de desempenho térmico dos sistemas de vedação e cobertura, sob os aspectos de transmitância térmica (U), absorvância (α), e capacidade térmica (CT), sob os seguintes parâmetros:

- (a) a área de abertura efetiva das janelas dos dormitórios e salas deve atender a um valor mínimo, que é indicado em porcentagem, em função da área de piso – essa exigência somente é válida caso não haja legislação específica para o local da obra (código de obras, sanitários ou outros);
- (b) as paredes exteriores devem atender aos valores prescritos na Figura 2, para sua transmitância térmica (U) e a absorvância (α) de sua superfície exterior – sua capacidade térmica (Ct) também deve ser igual ou superior a 130KJ/m².K (exceto para a zona bioclimática 8);
- (c) a cobertura deve atender aos valores prescritos na Figura 2, para sua transmitância térmica (U) e a absorvância (α) de sua superfície exterior – para a cobertura são indicados distintos níveis de desempenho. (Chvatal, 2014).

Figura 2: Avaliação de desempenho térmico através do procedimento simplificado



Fonte: elaborado pela autora, a partir de dados da ABNT NBR 15575-1 (2018).

Figura 3: Valores limites para as propriedades termofísicas das paredes exteriores e da cobertura, segundo o procedimento simplificado da ABNT NBR 15575

		Zonas 1 e 2		Zonas 3 a 8			
				$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$		
Paredes (desempenho mínimo/M)	U (W/m ² .K)	M	$\leq 2,5$	$\leq 3,7$	$\leq 2,5$		
Coberturas (desempenho mínimo/M, intermediário/I e superior/S)	U (W/m ² .K)		Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
				$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$
		M	$\leq 2,3$	$\leq 2,3$	$\leq 1,5$	$\leq 2,3$ FT	$\leq 1,5$ FT
		I	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$	$\leq 1,0$	$\leq 1,5$ FT	$\leq 1,0$ FT
S	$\leq 1,0$	$\leq 1,0$	$\leq 0,5$	$\leq 1,0$ FT	$\leq 0,5$ FT		

FT = fator de correção da transmitância térmica, conforme cálculo apresentado na ABNT NBR 15220.

Fonte: CHVATAL (2014).

5.5.3 Método de simulação

Caso não se atinja o desempenho necessário nos requisitos verificados pelo procedimento simplificado, utiliza-se o método de simulação para verificar sua conformidade junto à Norma. A ABNT NBR 15575-1 determina que a edificação deve ser simulada para um dia típico de verão, e um dia típico de inverno. A Norma disponibiliza ainda, uma lista com variados dias típicos que podem ser utilizados, caso não se encontre nessa lista o arquivo para utilização na simulação, pode se utilizar o arquivo climático para descobrir qual seriam os dias típicos para a zona bioclimática simulada.

Segundo Chvatal (2014), a simulação deve ocorrer em um software de acordo com as normas da American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers 140 (ASHRAE³), deverão ser simulados cada ambiente considerado em uma determinada zona térmica, analisando assim, o desempenho dos ambientes de longa permanência: salas e quartos.

A modelagem para verão não leva em consideração os ganhos internos de temperatura, como ocupação, iluminação e equipamentos. Já para inverno, a Norma não especifica se a avaliação deve ser feita levando em consideração os ganhos internos ou não (LAMBERTS *et al*, 2014).

Deve-se considerar a taxa de renovação de ar igual à uma por hora. A orientação solar deve ser a mesma do projeto, caso não se tenha conhecimento desse dado, deve-se adotar os seguintes parâmetros: para simulação do dia típico de verão considerar a janela do ambiente de longa permanência à oeste, e a outra face ao norte; para simulação do dia típico de inverno, deve-se considerar a janela do ambiente de longa permanência à sul, e a outra face ao leste; a absorvância deve corresponder ao material utilizado para cobertura da edificação; enquanto para as paredes deve-se considerar o valor de absorvância da cor escolhida, caso ainda não esteja definido, utiliza-se valores padrões de 0,3, 0,5 e 0,7. (CHVATAL, 2014).

Segundo Calazans (2016), o software para simulação deve ser abastecido além de todas as características construtivas do projeto, com dados climáticos da zona bioclimática simulada, e propriedades térmicas dos materiais e componentes construtivos. Entretanto, a confiabilidade do resultado depende diretamente da correta inserção dos dados no software.

Segundo Chvatal (2014), caso a simulação não comprove efetivo desempenho da edificação, pode-se fazer uma nova tentativa, utilizando-se de uma das seguintes modificações no modelo:

- a) Adoção de proteção solar interna ou externa que reduza ao menos 50% da radiação solar direta;
- b) Adoção de uma taxa de ventilação igual a 5 renovações de ar por hora;
- c) Combinação das duas opções acima. (Chvatal, 2014).

³ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: associação profissional que financia projetos de pesquisa, oferece programas de educação continuada, desenvolve e publica normas técnicas na área de conforto ambiental, eficiência energética e desenvolvimento sustentável.

- Requisitos de desempenho no verão:

As condições térmicas da habitação devem ser semelhantes as temperaturas externas à sombra, de acordo com a zona climática de implantação (ABNT 15575-1, 2013). Assim, a seguir é mostrado o valor máximo diário de temperatura do ar em ambientes de permanência prolongada.

Figura 4: Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critérios	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
Insuficiente	$T_{i,max} > T_{e,max}$	$T_{i,max} > T_{e,max}$
Mínimo	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
Intermediário	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2 \text{ }^\circ\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1 \text{ }^\circ\text{C})$
Superior	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4 \text{ }^\circ\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2 \text{ }^\circ\text{C})$

$T_{i,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: ABNT NBR 15575.

- Requisitos de desempenho no inverno:

As condições térmicas da habitação devem ser melhores que as temperaturas externas, de acordo com a zona climática de implantação (ABNT 15575-1, 2013). A seguir é demonstrado o valor mínimo diário de temperatura do ar em ambientes de permanência prolongada.

Figura 5: Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critérios	
	Zonas 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
Insuficiente	$T_{i,min} < (T_{e,min} + 3 \text{ }^\circ\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
Mínimo	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3 \text{ }^\circ\text{C})$	
Intermediário	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5 \text{ }^\circ\text{C})$	
Superior	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7 \text{ }^\circ\text{C})$	

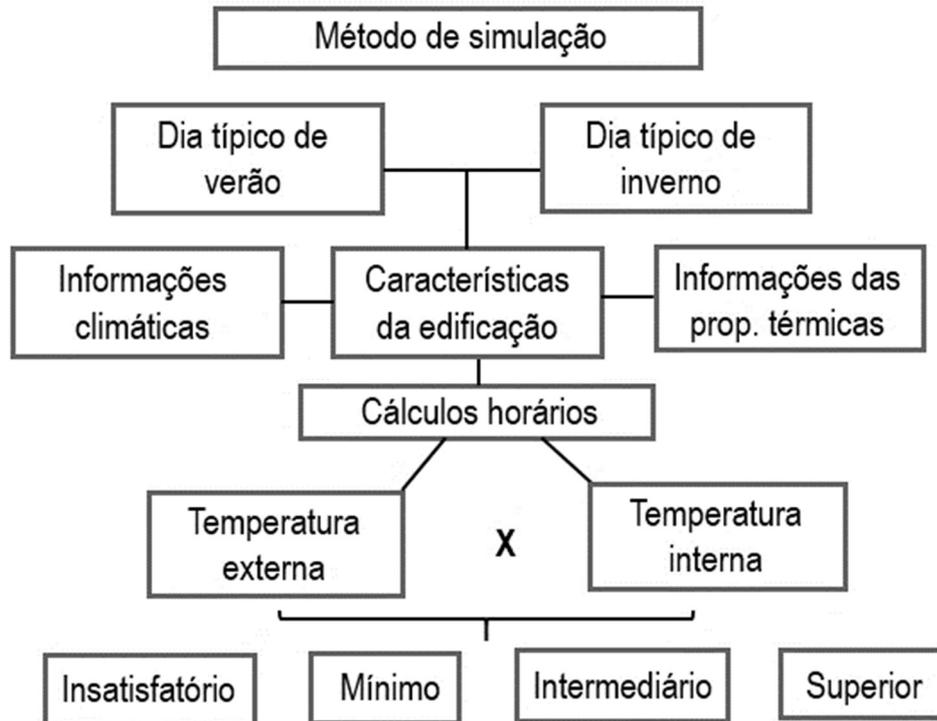
$T_{i,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: ABNT NBR 15575.

Figura 6: Avaliação de desempenho térmico através do método de simulação



Fonte: elaborado pela autora, a partir de dados da ABNT NBR 15575-1 (2018).

- Edificações em fase de projeto:

Para conjuntos habitacionais isolados, analisar as trocas térmicas dos ambientes avaliando o resultado para áreas de longa permanência (sala e quarto). Considerando que as separações entre unidades, seja por geminação ou entrepiso, apresenta a mesma condição térmica do ambiente simulado (ABNT 15575-1, 2013).

A edificação deve ser orientada conforme implantação, ou de forma que se possa simular a situação mais crítica, tanto para verão e inverno, quanto para obstrução no entorno e obstrução por elementos construtivos previstos na edificação, conforme demonstrado na ABNT NBR 15575-1 (2013).

A ABNT NBR 15575-1 ainda orienta sobre os valores de absorvância à radiação solar, que deve ser definida levando em consideração a cor da envoltória da edificação.

Caso após a simulação, a edificação não atenda aos requisitos solicitados, a ABNT NBR 15575-1 propõe algumas alterações a serem feitas, e sugere uma nova verificação.

5.5.4 NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE

- Adequação de paredes externas: estabelece os níveis máximos de transmitância térmica e absorvância, além da capacidade térmica mínima (ABNT 15575-4, 2013).

Figura 7: Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância térmica U (W/m ² .K)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 8	
U ≤ 2,5	α ² ≤ 0,6	α ² > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
<i>α- absorvância solar da superfície externa da parede</i>		

Fonte: ABNT, NBR 15575-4.

Figura 8: Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade Térmica CT (KJ/m ² .K)	
Zona 8	Zonas 1 a 7
Sem requisito	≥ 130

Fonte: ABNT, NBR 15575-4.

Para fins de cálculo, a determinação de valores de transmitância, absorvância e capacidade térmica das vedações mais usuais, a Tabela D.3. – Anexo D constante na ABNT NBR 15220 pode ser consultada, ou em outros casos, consultar o fabricante do material utilizado.

- Aberturas para ventilação: estabelece a dimensão mínima das aberturas para ventilação, aplica-se à sala de estar e dormitórios (ABNT 15575-4, 2013).

Figura 9: Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar

Aberturas para ventilação (A)		
Nível de desempenho	Zonas 1 a 7 - Aberturas médias	Zonas 8 - Aberturas grandes
Mínimo	A ≥ 7% da área de piso	A ≥ 12 % da área de piso - Região Norte
		A ≥ 8 % da área de piso - Nordeste e Sudeste

Nas zonas 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o frio.

Fonte: ABNT, NBR 15575-4.

5.5.5 NBR 15575-5: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas

- Insolação térmica da cobertura: estabelece valores máximos de transmitância térmica e absorvância considerando o fluxo térmico descendente, de acordo com a zona bioclimática onde encontra-se a habitação (ABNT 15575-5, 2013).

Figura 10: Critérios 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		Nível de desempenho
U ≤ 2,3	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4	Mínimo
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV	
U ≤ 1,5	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4	Intermediário
	U ≤ 1,5	U ≤ 1,0	U ≤ 1,5 FV	U ≤ 1,0 FV	
U ≤ 1,0	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4	Superior
	U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	U ≤ 1,0 FV	U ≤ 0,5 FV	

Fonte: ABNT, NBR 15575-5.

Para fins de cálculo, a determinação de valores de transmitância térmica, absorvância e capacidade térmica das coberturas mais usuais, a Tabela D.4. – Anexo D constante na ABNT NBR 15220 pode ser consultada, ou em outros casos, consultar o fabricante do material utilizado.

6 Aplicações dos métodos de avaliação de desempenho térmico em habitações de interesse social segundo a ABNT NBR 15575 – revisão bibliográfica

6.1 Pesquisa realizada pela autora Karin Maria Soares Chvatal:

AVALIAÇÃO DO PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO DA NBR 15575 PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES.

ANO: 2014 – ARTIGO CIENTÍFICO – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

6.1.1 Objetivo

A autora fez uma comparação entre os níveis de desempenho obtidos no procedimento simplificado e no método de simulação, considerando as mais variadas combinações de valores de transmitância térmica e absorvância, tanto para paredes externas quanto para cobertura de uma habitação de interesse social, localizadas em três zonas bioclimáticas distintas.

Procurou-se então, identificar se os limites estabelecidos no procedimento simplificado são compatíveis às situações avaliadas no método de simulação, e se, a capacidade térmica influi nos valores limitados pela Norma, além de procurar saber se cabem outras formas de análise dos níveis de desempenho além dos já estabelecidos pela ABNT NBR 15575.

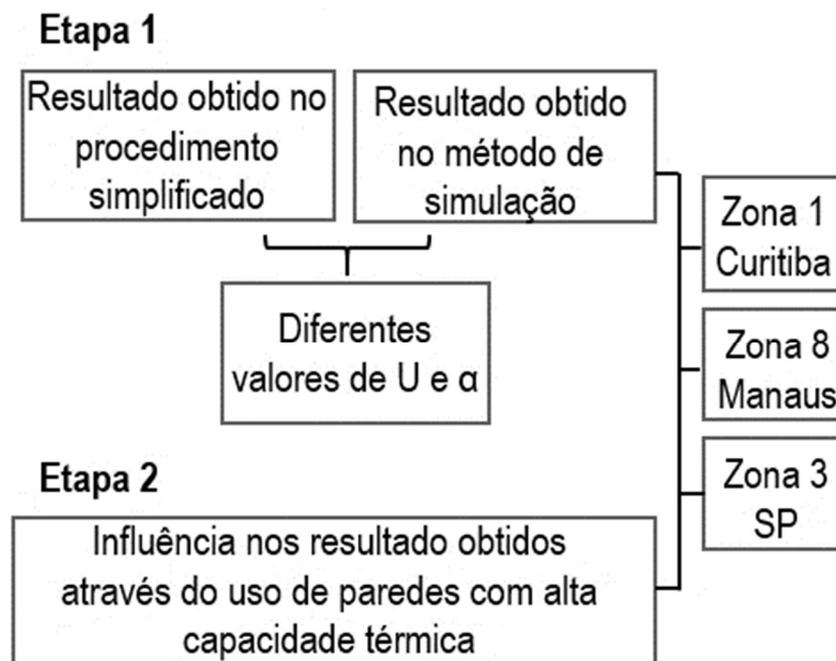
6.1.2 Objetivos específicos

- Comparar os níveis de desempenho obtidos pela edificação através do procedimento simplificado e do método de simulação, utilizando de variadas combinações de valores de transmitância térmica e absorvância;
- Verificar se os valores limitados pela ABNT NBR 15575 para o procedimento simplificado, representam de forma adequada a situação exposta pelo método de simulação, ou seja, verificar se há consistência entre os resultados obtidos por um método e por outro;
- Verificar se a capacidade térmica influi nos valores limites da Norma.

6.1.3 Metodologia

A pesquisa consiste em duas etapas, a primeira, na verificação do desempenho alcançado pela edificação através da aplicação do procedimento simplificado e pelo método de simulação proposto na ABNT NBR 15575. A segunda etapa consiste na mesma aplicação da etapa 1, porém, utilizando-se de paredes externas com alta capacidade térmica.

Figura 11: Síntese das análises conduzidas em cada etapa



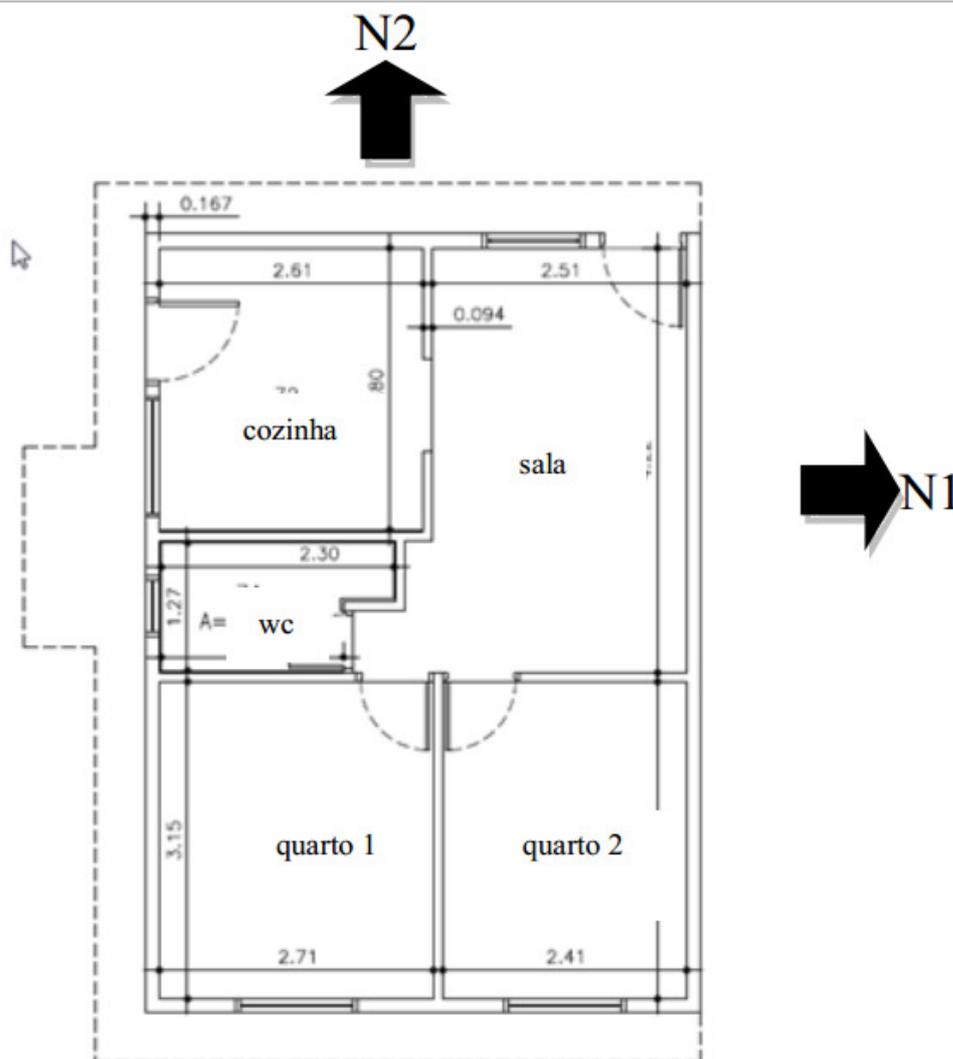
Fonte: elaborado pela autora, a partir da pesquisa de Chvatal (2018).

6.1.4 Modelo da habitação de interesse social e localização

O modelo adotado por Chvatal (2014) em sua pesquisa, é de uma habitação de interesse social térrea, unifamiliar, com dois dormitórios, área útil de 37,1m² e sem geminação. Para avaliação do desempenho térmico nessa edificação, utilizou-se de três zonas bioclimáticas: uma mais fria, zona bioclimática 1, cidade de Curitiba; uma mais quente, zona bioclimática 8, cidade de Manaus; e uma com clima intermediário, zona bioclimática 3, cidade de São Paulo.

A orientação solar definida por Chvatal (2014) pode ser verificada na figura 12, a fachada N1 foi utilizada na verificação do desempenho térmico para o dia típico de verão, a qual a janela da sala está voltada ao oeste, e outra parede externa para norte. Já para determinar o desempenho térmico para o dia típico de inverno, utilizou-se a fachada N2, a qual a janela do quarto está voltada ao sul, e outra parede externa para leste.

Figura 12: Modelo da habitação de interesse social e orientações em relação ao norte



Fonte: CHVATAL (2014).

6.1.5 Características construtivas

Foram adotados diferentes valores para transmitância térmica e absorvância das envoltórias da edificação (paredes externas e cobertura), afim de abranger uma faixa de valores maior do que o exposto pela ABNT NBR 15575 no procedimento simplificado, considerando em todo caso, um valor de capacidade térmica maior que o exigido pela Norma ($130\text{KJ}/\text{m}^2.\text{K}$). Já na etapa 2 da pesquisa, a autora utilizou materiais com alta capacidade térmica nas paredes externas. Com exceção dos

materiais das paredes externas e da cobertura, o restante das características construtivas da habitação foram mantidas, conforme demonstra o quadro abaixo:

Figura 13: Características das paredes externas e das coberturas simuladas

Paredes exteriores		
$\alpha=0,9 / 0,6$ e $0,3$		
	U (W/m ² .K)	Ct (kJ/m ² .K)
painel de concreto moldado <i>in loco</i> , densidade de massa aparente igual a 2.014 kg/m ³ (8 cm)	4,39	161
bloco de concreto furado (9 cm) + argamassa interior (2,5 cm)	3,05	156
argamassa exterior (2,5 cm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5 cm) + bloco de concreto furado (9 cm) + argamassa interior (2,5 cm)	2,11	156
argamassa exterior (2,5 cm) + isolamento de poliestireno expandido (3 cm) + painel de concreto leve moldado <i>in loco</i> (8 cm)	1,00	161
Cobertura		
$\alpha=0,9 / 0,6$ e $0,3$		
	U (W/m ² .K)	Ct (kJ/m ² .K)
telha de fibrocimento (8 mm) + laje de concreto (8 cm)	3,79	189
telha de fibrocimento (8 mm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5 cm) + laje de concreto (8 cm)	2,57	176
telha de fibrocimento (8 mm) + ático + laje cerâmica pré-moldada (12 cm)	1,80	181
telha de fibrocimento (8 mm) + ático + isolamento de poliestireno expandido (5 cm) + laje cerâmica pré-moldada (12 cm)	0,55	168

Tabela 5 - Características das paredes exteriores com alta capacidade térmica

Paredes exteriores com alta capacidade térmica		
$\alpha=0,9 / 0,6$ e $0,3$		
	U (W/m ² .K)	Ct (kJ/m ² .K)
painel de concreto moldado <i>in loco</i> , densidade de massa aparente igual a 2.014 kg/m ³ (20 cm)	3,19	403
argamassa exterior (2,5 cm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5 cm) + painel de concreto leve moldado <i>in loco</i> (20 cm)	2,17	403
argamassa exterior (2,5 cm) + isolamento de poliestireno expandido (3 cm) + painel de concreto leve moldado <i>in loco</i> (20 cm)	0,92	403

Fonte: CHVATAL (2014).

Figura 14: Características construtivas das habitações mantidas fixas nas simulações.

Tipo de vidro	vidro incolor 4 mm fator solar: 0,84
Área das janelas	quartos: 19,3% da área da parede sala: 16,3% da área da parede
Paredes internas	bloco de concreto furado de 9 cm, revestido por argamassa (2,5 cm) nas duas faces
Beiral	beiral de 50 cm de largura, em 3 fachadas, conforme o projeto original
Venezianas	nos quartos, metade da área das janelas corresponde a venezianas de alumínio

Fonte: CHVATAL (2014).

6.1.6 Características da modelagem

Para efeito de simulação, a autora considerou cada ambiente da edificação como uma zona térmica, utilizando o valor de 1 renovação de ar por hora em todos os ambientes, e ausência de ganhos internos, assim como considera a ABNT NBR 15575. Se o desempenho mínimo não fosse alcançado nessas condições, altera-se o número de renovações de ar por hora para 5, e adotasse a colocação de venezianas exteriores

ocupando 50% da área das janelas em todos os ambientes. O software utilizado na simulação foi o EnergyPlus.

6.1.7 Etapa 1: influência da transmitância térmica e da absorvância da envolvente no nível de desempenho da edificação

Aplicou-se o procedimento simplificado e o método de simulação computacional, conforme a ABNT NBR 15575, na habitação de interesse social com variadas transmissâncias térmicas e absorvâncias, e capacidade térmica maior que o mínimo estabelecido pela Norma ($130 \text{ KJ.m}^2/\text{K}$), afim de averiguar se ambos representam, de fato, a influência das propriedades térmicas nos níveis de desempenho da edificação.

6.1.8 Desempenho térmico no verão: temperatura na sala de estar da edificação - Resultado obtido através do procedimento simplificado

No procedimento simplificado, Chvatal (2014) compara os valores limitantes da ABNT NBR 15575 para transmitância térmica, dada a absorvância dos materiais que compõe as paredes externas e cobertura (Figura 13) da habitação de interesse social, dividindo assim, sua classificação em níveis de desempenho (insuficiente, mínimo, intermediário e superior). Esses mesmos materiais serão os utilizados no método de simulação, verificando assim, a consistência entre os métodos de verificação do desempenho da edificação.

Além da transmitância térmica e da absorvância, o método leva em consideração a capacidade térmica dos materiais. A pesquisa fez o uso de materiais com capacidade térmica acima do mínimo recomendado pela Norma ($130 \text{ KJ/m}^2.\text{K}$).

Tabela 1: Nível de desempenho alcançado para os materiais simulados, na zona bioclimática 1

Zona Bioclimática 1			
Paredes externas			
$\alpha = 0,3 / 0,6 / 0,9$			
Composição	U	U limitante da Norma	Nível de desempenho
Painel de concreto moldado <i>in loco</i>	4,39 W/m ² .k	M: ≤ 2,5	Insuficiente
Bloco de concreto furado (9cm) + argamassa interior (2,5cm)	3,05 W/m ² .k	M: ≤ 2,5	Insuficiente
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + bloco de concreto furado (9cm) + argamassa interior (2,5cm)	2,11 W/m ² .k	M: ≤ 2,5	Mínimo
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (3cm) + painel de concreto leve moldado <i>in loco</i> (8cm)	1,00 W/m ² .k	M: ≤ 2,5	Mínimo
Coberturas			
$\alpha = 0,3 / 0,6 / 0,9$			
Telha de fibrocimento (8mm) + laje de concreto (8cm)	3,79 W/m ² .k	M: ≤ 2,3 I: ≤ 1,5 S: ≤ 1,0	Insuficiente
Telha de fibrocimento (8mm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + laje de concreto (8 cm)	2,57 W/m ² .k	M: ≤ 2,3 I: ≤ 1,5 S: ≤ 1,0	Insuficiente
Telha de fibrocimento (8mm) + ático + laje cerâmica pré moldada (12 cm)	1,80 W/m ² .k	M: ≤ 2,3 I: ≤ 1,5 S: ≤ 1,0	Mínimo
Telha de fibrocimento (8mm) + ático + isolamento de poliestireno expandido (5cm) + laje cerâmica pré moldada (12cm)	0,55 W/m ² .k	M: ≤ 2,3 I: ≤ 1,5 S: ≤ 1,0	Superior
Paredes exteriores com alta capacidade térmica			
$\alpha = 0,3 / 0,6 / 0,9$			
Painel de concreto moldado <i>in loco</i>	3,19 W/m ² .k	M: ≤ 2,5	Insuficiente
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + painel de concreto leve montado <i>in loco</i> (20 cm)	2,17 W/m ² .k	M: ≤ 2,5	Mínimo
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (3cm) + painel de concreto leve montado <i>in loco</i> (20 cm)	0,92 W/m ² .k	M: ≤ 2,5	Mínimo

Fonte: elaborado pela autora, a partir de dados apresentados por Chvatal (2018).

Tabela 2: Nível de desempenho alcançado para os materiais simulados, na zona bioclimática 3

Zona Bioclimática 3			
Paredes externas			
$\alpha \leq 0,6$ ($\alpha = 0,3 / 0,6$)			
Composição	U	U limitante da Norma =	Nível de desempenho
Painel de concreto moldado <i>in loco</i>	4,39 W/m ² .k	M: $\leq 3,7$	Insuficiente
Bloco de concreto furado (9cm) + argamassa interior (2,5cm)	3,05 W/m ² .k	M: $\leq 3,7$	Mínimo
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + bloco de concreto furado (9cm) + argamassa interior (2,5cm)	2,11 W/m ² .k	M: $\leq 3,7$	Mínimo
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (3cm) + painel de concreto leve moldado <i>in loco</i> (8cm)	1,00 W/m ² .k	M: $\leq 3,7$	Mínimo
Coberturas			
$\alpha \leq 0,6$ ($\alpha = 0,3 / 0,6$)			
Telha de fibrocimento (8mm) + laje de concreto (8cm)	3,79 W/m ² .k	M: $\leq 2,3$ I: $\leq 1,5$ S: $\leq 1,0$	Insuficiente
Telha de fibrocimento (8mm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + laje de concreto (8 cm)	2,57 W/m ² .k	M: $\leq 2,3$ I: $\leq 1,5$ S: $\leq 1,0$	Insuficiente
Telha de fibrocimento (8mm) + ático + laje cerâmica pré moldada (12 cm)	1,80 W/m ² .k	M: $\leq 2,3$ I: $\leq 1,5$ S: $\leq 1,0$	Mínimo
Telha de fibrocimento (8mm) + ático + isolamento de poliestireno expandido (5cm) + laje cerâmica pré moldada (12cm)	0,55 W/m ² .k	M: $\leq 2,3$ I: $\leq 1,5$ S: $\leq 1,0$	Superior
Paredes exteriores com alta capacidade térmica			
$\alpha \leq 0,6$ ($\alpha = 0,3 / 0,6$)			
Painel de concreto moldado <i>in loco</i>	3,19 W/m ² .k	M: $\leq 3,7$	Mínimo
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + painel de concreto leve montado <i>in loco</i> (20 cm)	2,17 W/m ² .k	M: $\leq 3,7$	Mínimo
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (3cm) + painel de concreto leve montado <i>in loco</i> (20 cm)	0,92 W/m ² .k	M: $\leq 3,7$	Mínimo

Fonte: elaborado pela autora, a partir de dados apresentados por Chvatal (2018).

Tabela 3: Nível de desempenho alcançado para os materiais simulados, na zona bioclimática 3

Zona Bioclimática 3			
Paredes externas			
$\alpha \geq 0,6$ ($\alpha = 0,9$)			
Composição	U	U limitante da Norma =	Nível de desempenho
Painel de concreto moldado <i>in loco</i>	4,39 W/m ² .k	M: $\leq 2,5$	Insuficiente
Bloco de concreto furado (9cm) + argamassa interior (2,5cm)	3,05 W/m ² .k	M: $\leq 2,5$	Insuficiente
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + bloco de concreto furado (9cm) + argamassa interior (2,5cm)	2,11 W/m ² .k	M: $\leq 2,5$	Mínimo
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (3cm) + painel de concreto leve moldado <i>in loco</i> (8cm)	1,00 W/m ² .k	M: $\leq 2,5$	Mínimo
Coberturas			
$\alpha \geq 0,6$ ($\alpha = 0,9$)			
Telha de fibrocimento (8mm) + laje de concreto (8cm)	3,79 W/m ² .k	M: $\leq 1,5$ I: $\leq 1,0$ S: $\leq 0,5$	Insuficiente
Telha de fibrocimento (8mm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + laje de concreto (8 cm)	2,57 W/m ² .k	M: $\leq 1,5$ I: $\leq 1,0$ S: $\leq 0,5$	Insuficiente
Telha de fibrocimento (8mm) + ático + laje cerâmica pré moldada (12 cm)	1,80 W/m ² .k	M: $\leq 1,5$ I: $\leq 1,0$ S: $\leq 0,5$	Insuficiente
Telha de fibrocimento (8mm) + ático + isolamento de poliestireno expandido (5cm) + laje cerâmica pré moldada (12cm)	0,55 W/m ² .k	M: $\leq 1,5$ I: $\leq 1,0$ S: $\leq 0,5$	Intermediário
Paredes exteriores com alta capacidade térmica			
$\alpha \geq 0,6$ ($\alpha = 0,9$)			
Painel de concreto moldado <i>in loco</i>	3,19 W/m ² .k	M: $\leq 2,5$	Insuficiente
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + painel de concreto leve montado <i>in loco</i> (20 cm)	2,17 W/m ² .k	M: $\leq 2,5$	Mínimo
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (3cm) + painel de concreto leve montado <i>in loco</i> (20 cm)	0,92 W/m ² .k	M: $\leq 2,5$	Mínimo

Fonte: elaborado pela autora, a partir de dados apresentados por Chvatal (2018).

Tabela 4: Nível de desempenho alcançado para os materiais simulados, na zona bioclimática 8

Zona Bioclimática 8			
Paredes externas			
$\alpha \leq 0,6$ ($\alpha = 0,3 / 0,6$)			
Composição	U	U limitante da Norma =	Nível de desempenho
Painel de concreto moldado <i>in loco</i>	4,39 W/m ² .k	M: $\leq 3,7$	Insuficiente
Bloco de concreto furado (9cm) + argamassa interior (2,5cm)	3,05 W/m ² .k	M: $\leq 3,7$	Mínimo
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + bloco de concreto furado (9cm) + argamassa interior (2,5cm)	2,11 W/m ² .k	M: $\leq 3,7$	Mínimo
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (3cm) + painel de concreto leve moldado <i>in loco</i> (8cm)	1,00 W/m ² .k	M: $\leq 3,7$	Mínimo
Coberturas			
$\alpha \leq 0,6$ ($\alpha = 0,3 / 0,6$)			
Telha de fibrocimento (8mm) + laje de concreto (8cm)	3,79 W/m ² .k	M: $\leq 2,3$ I: $\leq 1,5$ S: $\leq 1,0$	Insuficiente
Telha de fibrocimento (8mm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + laje de concreto (8 cm)	2,57 W/m ² .k	M: $\leq 2,3$ I: $\leq 1,5$ S: $\leq 1,0$	Insuficiente
Telha de fibrocimento (8mm) + ático + laje cerâmica pré moldada (12 cm)	1,80 W/m ² .k	M: $\leq 2,3$ I: $\leq 1,5$ S: $\leq 1,0$	Mínimo
Telha de fibrocimento (8mm) + ático + isolamento de poliestireno expandido (5cm) + laje cerâmica pré moldada (12cm)	0,55 W/m ² .k	M: $\leq 2,3$ I: $\leq 1,5$ S: $\leq 1,0$	Superior
Paredes exteriores com alta capacidade térmica			
$\alpha \leq 0,6$ ($\alpha = 0,3 / 0,6$)			
Painel de concreto moldado <i>in loco</i>	3,19 W/m ² .k	M: $\leq 3,7$	Mínimo
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + painel de concreto leve montado <i>in loco</i> (20 cm)	2,17 W/m ² .k	M: $\leq 3,7$	Mínimo
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (3cm) + painel de concreto leve montado <i>in loco</i> (20 cm)	0,92 W/m ² .k	M: $\leq 3,7$	Mínimo

Fonte: elaborado pela autora, a partir de dados apresentados por Chvatal (2018).

Tabela 5: Nível de desempenho alcançado para os materiais simulados, na zona bioclimática 8

Zona Bioclimática 8			
Paredes externas			
$\alpha \geq 0,6$ ($\alpha = 0,9$)			
Composição	U	U limitante da Norma =	Nível de desempenho
Painel de concreto moldado <i>in loco</i>	4,39 W/m ² .k	M: $\leq 2,5$	Insuficiente
Bloco de concreto furado (9cm) + argamassa interior (2,5cm)	3,05 W/m ² .k	M: $\leq 2,5$	Insuficiente
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + bloco de concreto furado (9cm) + argamassa interior (2,5cm)	2,11 W/m ² .k	M: $\leq 2,5$	Mínimo
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (3cm) + painel de concreto leve moldado <i>in loco</i> (8cm)	1,00 W/m ² .k	M: $\leq 2,5$	Mínimo
Coberturas			
$\alpha \geq 0,6$ ($\alpha = 0,9$)			
Telha de fibrocimento (8mm) + laje de concreto (8cm)	3,79 W/m ² .k	M: $\leq 1,5$ I: $\leq 1,0$ S: $\leq 0,5$	Insuficiente
Telha de fibrocimento (8mm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + laje de concreto (8 cm)	2,57 W/m ² .k	M: $\leq 1,5$ I: $\leq 1,0$ S: $\leq 0,5$	Insuficiente
Telha de fibrocimento (8mm) + ático + laje cerâmica pré moldada (12 cm)	1,80 W/m ² .k	M: $\leq 1,5$ I: $\leq 1,0$ S: $\leq 0,5$	Insuficiente
Telha de fibrocimento (8mm) + ático + isolamento de poliestireno expandido (5cm) + laje cerâmica pré moldada (12cm)	0,55 W/m ² .k	M: $\leq 1,5$ I: $\leq 1,0$ S: $\leq 0,5$	Intermediário
Paredes exteriores com alta capacidade térmica			
$\alpha \geq 0,6$ ($\alpha = 0,9$)			
Painel de concreto moldado <i>in loco</i>	3,19 W/m ² .k	M: $\leq 2,5$	Insuficiente
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (0,5cm) + painel de concreto leve montado <i>in loco</i> (20 cm)	2,17 W/m ² .k	M: $\leq 2,5$	Mínimo
Argamassa exterior (2,5cm) + isolamento de poliestireno expandido (3cm) + painel de concreto leve montado <i>in loco</i> (20 cm)	0,92 W/m ² .k	M: $\leq 2,5$	Mínimo

Fonte: elaborado pela autora, a partir de dados apresentados por Chvatal (2018).

6.1.9 Desempenho térmico no verão: temperatura na sala de estar da edificação - Resultado obtido através do método de simulação

Para a verificação do nível de desempenho no método de simulação, Chvatal (2014) obtém as temperaturas máximas e mínimas nos dias típicos de verão e inverno respectivamente, comparando seus valores aos níveis de desempenho propostos pela ABNT NBR 15575 (figuras 4 e 5).

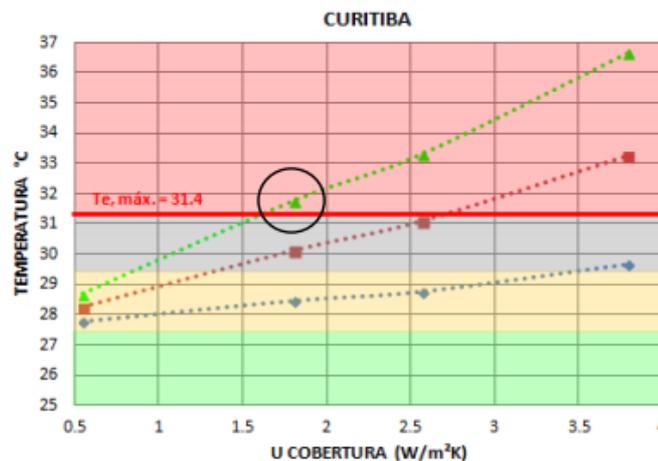
No gráfico dado pelo software, cada ponto representa a temperatura máxima do ar na sala de estar, dada uma combinação diferente de transmitância térmica e absorvância da envoltória da edificação. Os níveis de desempenho informados no gráfico (mínimo, intermediário, superior e insuficiente) são estabelecidos dada a diferença entre as temperaturas máximas internas e externas.

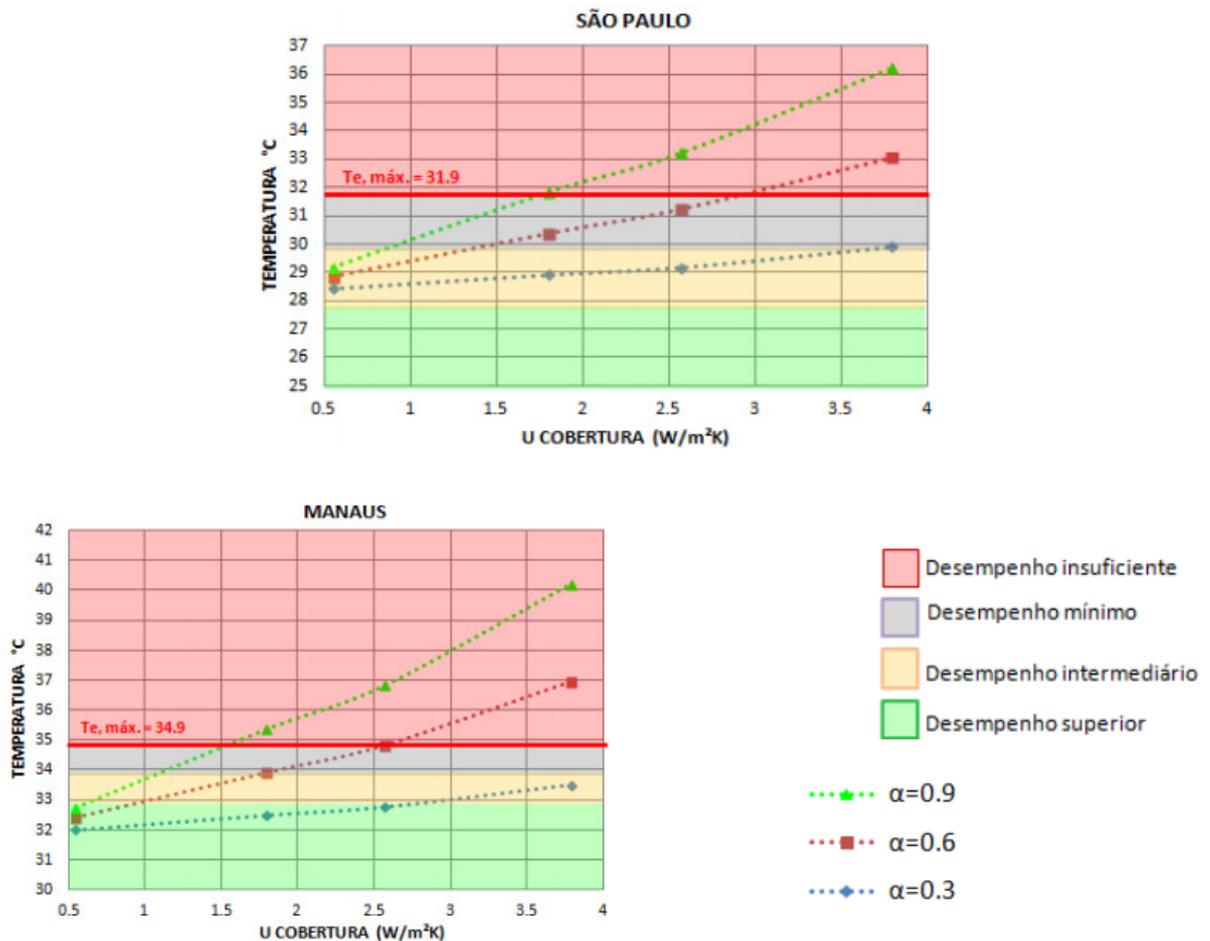
Na figura 15, são alteradas a transmitância térmica e absorvância da cobertura, e as paredes externas permanecem com valores de transmitância térmica e absorvância inalterados ($U = 2,11 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e $\alpha = 0,9$).

Nessa simulação pode-se verificar a importância das propriedades termofísicas da cobertura, nessa tipologia de habitação, no verão, e nesses três diferentes climas. Uma vez que tais superfícies têm ganhos solares maiores, quanto menor for o valor da combinação de transmitância térmica e absorvância, menor será a temperatura máxima do interior do ambiente, e conseqüentemente melhor o nível de desempenho alcançado.

Chvatal (2014) ressalta ainda que nessas situações, a temperatura máxima do interior do ambiente varia notadamente em razão da combinação de valores de transmitância térmica e absorvância, alcançando assim, variados níveis de desempenho.

Figura 15: Relação da variação de temperatura interior x transmitância térmica no verão





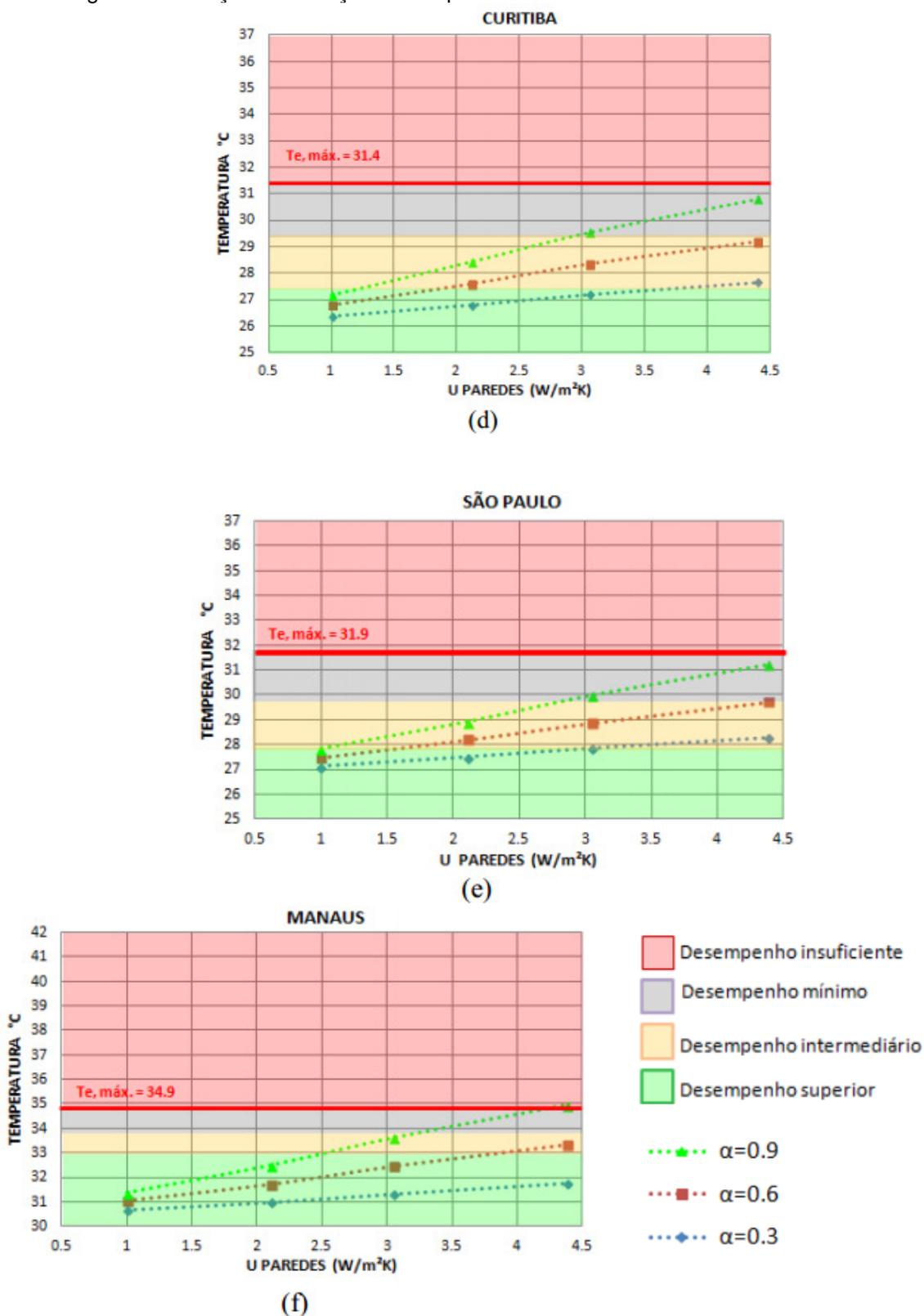
Fonte: adaptado de CHVATAL (2014).

Na figura 16, são alteradas a transmitância térmica e absorvância das paredes externas, e a cobertura permanece com valores de transmitância térmica e absorvância inalterados ($U = 1,80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) e ($\alpha = 0,3$).

Como acontece com a simulação representada na Figura 15, as propriedades termofísicas das paredes externas, ao exemplo da cobertura, também exercem grande influência no resultado. Mesmo que com ganhos solares menores do que as superfícies de cobertura, e portanto, com menor variação no níveis de desempenho alcançados, o mesmo conceito se aplica à elas: quanto menor for o valor da combinação de transmitância térmica e absorvância, menor será a temperatura máxima do interior do ambiente, e conseqüentemente melhor o nível de desempenho alcançado.

Chvatal (2014) lembra que a ABNT NBR 15575 contempla essa diferença de ganho solar pelas coberturas e vedações externas, determinando 3 níveis de desempenho para cobertura, e somente desempenho mínimo para as paredes externas.

Figura 16: Relação da variação de temperatura interior x transmitância térmica no verão



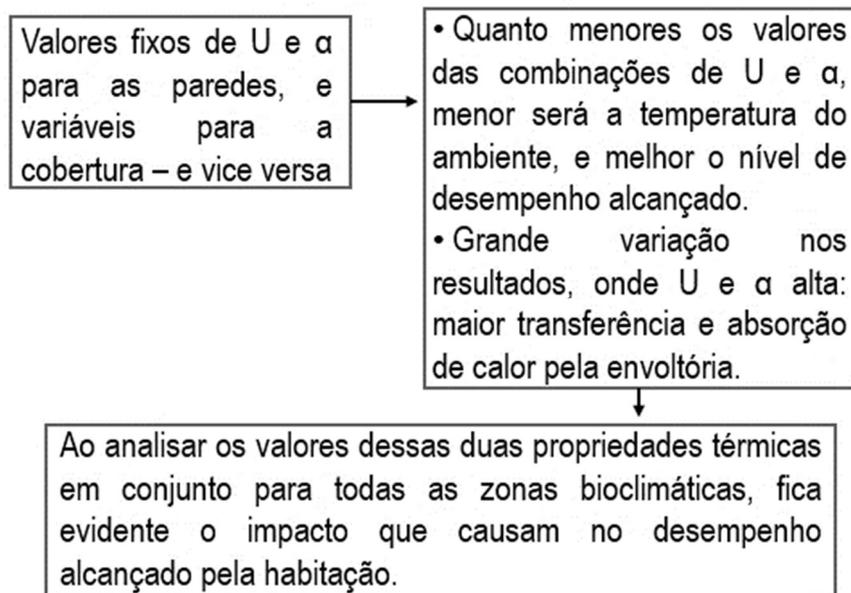
Fonte: adaptado de CHVATAL (2014).

Pelas figuras 15 e 16 e seus resultados apresentados na pesquisa de Chvatal (2014), conclui-se que para dias típicos de verão, quanto maior a transmitância térmica da cobertura e das paredes externas maior será a temperatura máxima interna do ambiente, e pior será o desempenho da edificação. Chvatal (2014) explica que esse

processo ocorre porque, quando se aumenta a transmitância térmica ocorre uma maior transmissão de calor para o interior através das envoltórias.

Chvatal (2014) demonstra ainda em seus estudos, que materiais de revestimento, como pintura, quando apresentam valores de absorvância menor, ou seja, cores mais claras, não apresentam variações consideráveis no conforto térmico, em razão do valor de transmitância térmica. O que pode ser entendido pela simulação realizada na cidade de Manaus, na figura 17, quando a $\alpha = 0,9$ o nível de desempenho alcançado varia de insuficiente à superior dependendo da U das paredes exteriores. Mas quando a $\alpha = 0,3$ o nível de desempenho alcançado é sempre superior independentemente do valor de U das paredes exteriores.

Figura 17: Síntese dos resultados encontrados através do método de simulação no verão



Fonte: elaborado pela autora, a partir da pesquisa de Chvatal (2018).

6.1.10 Relação entre os resultados obtidos no procedimento simplificado e no método de simulação, para o desempenho térmico no verão

Analisando os gráficos obtidos pela simulação das coberturas, observa-se uma grande variação nos resultados obtidos através das combinações de U e α . Chvatal (2014) conclui que a transmitância térmica e absorvância dos materiais utilizados, têm suma importância no desempenho térmico apresentado por esse tipo de habitação, climas simulados, no verão, e que esse impacto é contemplado pelo método de simulação, mas não pelo procedimento simplificado.

Chvatal (2014) explica que no procedimento simplificado a transmitância térmica e absorvância somente são analisadas em conjunto, para as zonas bioclimáticas 3 a 8 (no caso da pesquisa, cidades de São Paulo e Manaus), sendo que, nas zonas bioclimáticas 1 e 2 (cidade de Curitiba) analisa-se somente a transmitância térmica, não refletindo assim, os resultados obtidos na simulação. Em casos como o demonstrado na cidade de Curitiba, mesmo com valores de absorvância altos, a

transmitância térmica estando dentro do estabelecido pela Norma ($\leq 2,3$ para coberturas; e $\leq 2,5$ para paredes externas), seria aprovado, enquanto a simulação demonstra resultados diferentes, indicando uma regulação entre os níveis de absorvância e transmitância térmica em conjunto.

Para verificar o desempenho das paredes externas, a Norma estabelece somente o atendimento ao desempenho mínimo, enquanto para as coberturas é estabelecido o atendimento à três níveis de desempenho. Isso ocorre justamente pelos ganhos solares serem maiores em uma superfície (cobertura), do que em outras (paredes externas). Porém, Chvatal (2014) conclui que da mesma forma que acontece com as coberturas, o procedimento simplificado para verificação do desempenho nas paredes externas, considera a transmitância térmica e absorvância em conjunto nas zonas bioclimáticas de 3 a 8, e nas zonas bioclimáticas 1 e 2 considera somente a transmitância térmica. Mais uma vez, demonstrando inconsistência entre os resultados obtidos no procedimento simplificado e no método de simulação.

Chvatal (2014) indica que a grande incoerência entre os métodos de verificação do desempenho térmico da ABNT NBR 15575, está em o procedimento simplificado não levar em consideração a absorvância em algumas zonas bioclimáticas, gerando incoerência entre os resultados apresentados pelo método de simulação. A autora exemplifica que na cidade de Manaus, o método de simulação determinou desempenho intermediário e até superior, em casos onde há alta transmitância térmica e baixa absorvância nos materiais, o que no procedimento simplificado não seria aprovado.

Segundo Chvatal (2014), “há uma tendência no setor da construção civil em se acreditar que edifícios com envoltivos de menor transmitância são mais confortáveis termicamente”. O isolamento apresenta resultados positivos para a habitação de interesse social, mas a absorvância também possui papel fundamental no período de verão (CHVATAL, 2014). Tal diferença obtida na verificação do desempenho por um método e outro, segundo a autora, pode levar a gastos desnecessários e um entendimento equivocado sobre o assunto, sobre tudo, quando se verifica o desempenho somente pelo procedimento simplificado.

Além desses pontos, Chvatal (2014) indica ainda uma revisão da ABNT NBR 15575 afim de verificar a facilidade que se tem em alterar o valor da absorvância das paredes exteriores, o que comprometeria o nível de desempenho da edificação.

Outro ponto importante de revisão da Norma proposto pela autora é que, no procedimento simplificado, somente são analisadas as componentes opacas da envoltória, o que no caso da habitação de interesse social utilizada na pesquisa, é representado de fato. Porém, a ABNT NBR 15575 diz que todas as edificações devem ser avaliadas dessa mesma forma, o que não representaria a realidade de edificações onde há uma maior diferença de elementos construtivos, como por exemplo nas fachadas envidraçadas, onde só seria avaliada sua superfície opaca, resultando talvez, na aprovação de uma edificação ineficiente. Chvatal (2014) aponta como solução, a limitação do procedimento simplificado para habitações com características construtivas padrão, ou incluir parâmetros de verificação que contemplem toda a gama característica construtiva do mercado.

Chvatal (2014) indica ainda, mudanças quanto às alterações possíveis na taxa de renovação de ar por hora no modelo simulado. A Norma diz determina 1 renovação de ar por hora em todos os ambientes, e não ocorrendo a aprovação da edificação, pode-se alterar a taxa para 5 renovações de ar por hora. Segundo a autora, as mudanças deveriam refletir de fato, o que está sendo alterado em projeto.

6.1.11 Desempenho térmico no inverno: temperatura no quarto da edificação - Resultado obtido através do procedimento simplificado

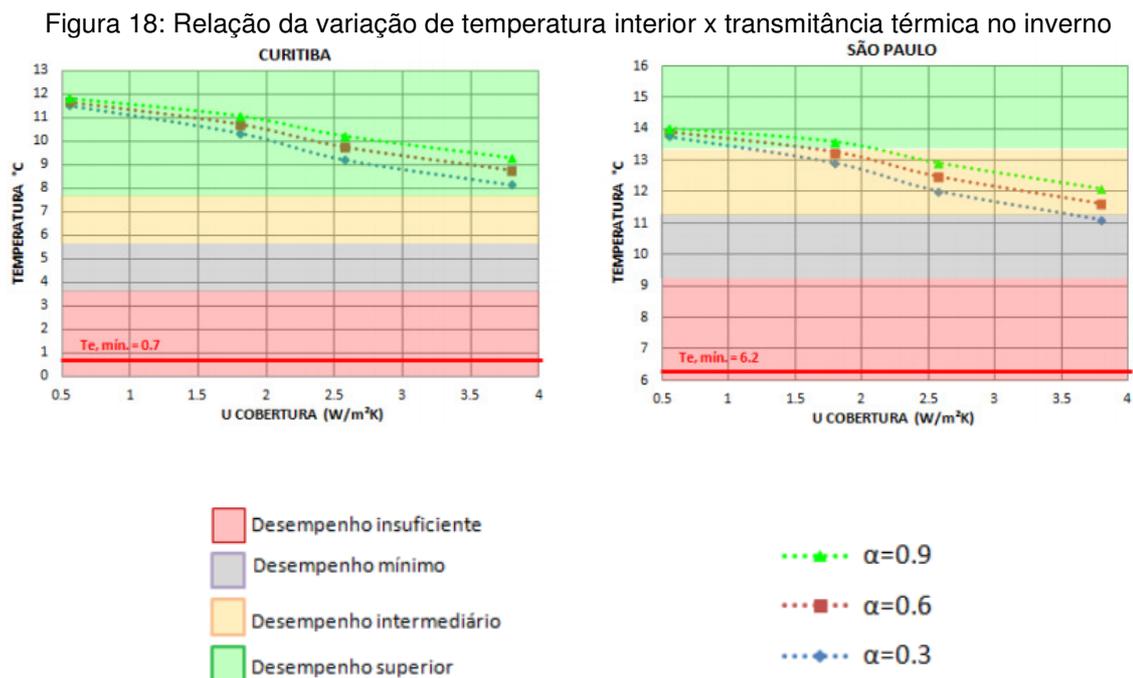
Para verificação do nível de desempenho alcançado pela edificação no inverno através do procedimento simplificado, Chvatal (2014) utiliza os mesmos princípios para desempenho térmico no verão. Tais métodos e resultados podem ser verificados nas Tabelas 1 a 5.

6.1.12 Desempenho térmico no inverno: temperatura no quarto da edificação - Resultado obtido através do método de simulação

Também na verificação do nível de desempenho obtido no método de simulação, Chvatal (2014) utiliza os mesmos métodos usados no verão.

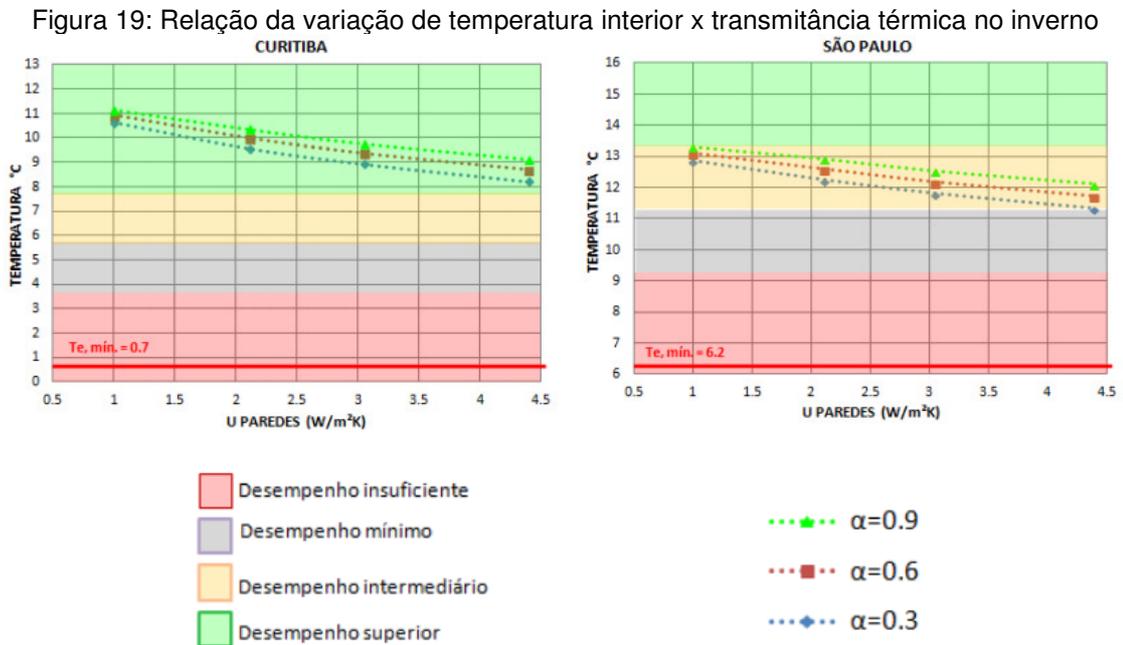
As figuras 18 e 19 representam os resultados obtidos na simulação para as cidades de São Paulo e Curitiba. Manaus, está localizado na zona bioclimática 8, e por determinação da Norma, não necessita de simulação.

Na figura 18 mantem-se fixos os valores para absorvância e transmitância térmica das paredes externas ($U = 2,11 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) e ($\alpha = 0,9$), alterando os valores para a cobertura.



Fonte: adaptado de CHVATAL (2014).

Na figura 19 mantem-se fixos os valores para absorvância e transmitância térmica da cobertura ($U = 1,80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) e ($\alpha = 0,3$), alterando os valores para as paredes exteriores.



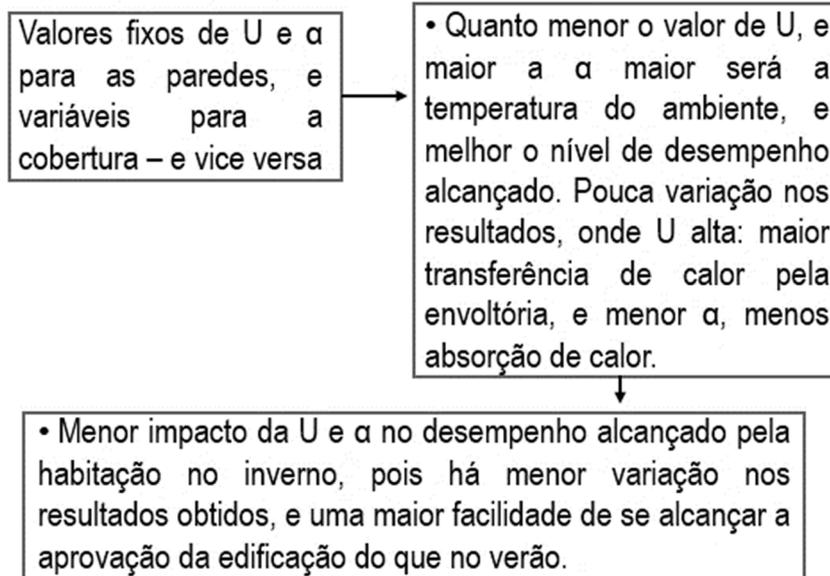
Fonte: adaptado de CHVATAL (2014).

Segundo Chvatal (2014), os resultados obtidos, demonstram que há uma facilidade maior no inverno que no verão de se atingir as exigências da ABNT NBR 15575, obtendo níveis de desempenho mais satisfatórios, para esse tipo de habitação e clima. Além disso, os resultados deixam evidente que as propriedades térmicas dos materiais, transmitância térmica e absorvância, exercem uma importância menor no clima das cidades simuladas, tanto para coberturas, quanto para as paredes externas.

As demonstrações também indicam que quanto maior a transmitância térmica da envoltória, menor será a temperatura do ambiente, resultando em um desempenho inferior, o que pode ser indicado pela curvatura decrescente dos gráficos. Chvatal (2014) explica que esse fenômeno ocorre porque quando se aumenta a transmitância térmica, há uma perda de calor maior para o exterior através das envoltórias. Como a declividade das curvas são muito parecidas, fica demonstrado também, que a absorvância não influencia no resultado significativamente, como no verão, para esse tipo de habitação e clima.

Chvatal (2014) conclui então, que o atendimento às exigências para o verão seria suficiente para determinar o nível de desempenho das habitações de interesse social, também no inverno.

Figura 20: Síntese dos resultados encontrados através do método de simulação no inverno

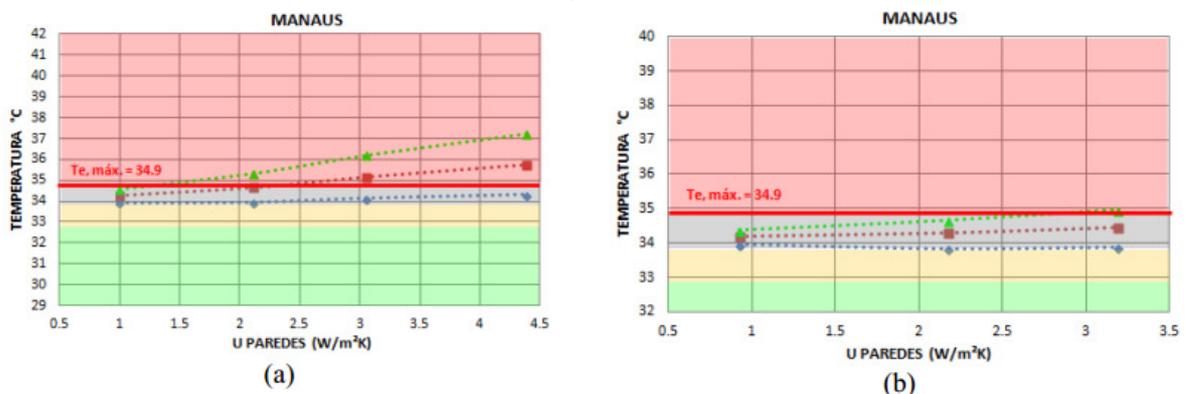


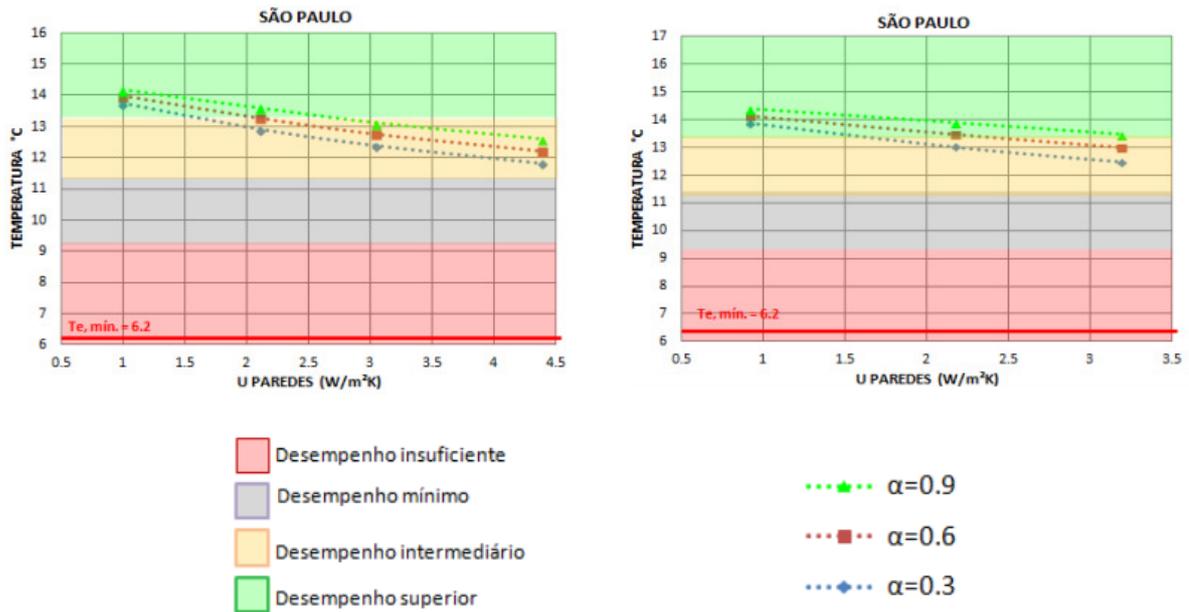
Fonte: elaborado pela autora, a partir da pesquisa de Chvatal (2018).

6.1.13 Etapa 2: influência da capacidade térmica das paredes exteriores no nível de desempenho da habitação, no verão e no inverno

Para verificar se o uso de paredes exteriores com maior capacidade térmica que o determinado pela ABNT NBR 15575 ($130 \text{ KJ/m}^2.\text{K}$) impactam no nível de desempenho alcançado pela habitação, a simulação foi feita da mesma forma que na etapa 1: habitação sem ganhos internos e com taxa de renovação de ar por hora igual à 1, porém com as paredes externas com alta capacidade térmica ($403 \text{ KJ/m}^2.\text{K}$). Na Figura 21 estão representados os resultados, que, segundo Chvatal (2014) “são representativos para todos os climas e situações estudadas”.

Figura 21: Relação da variação de temperatura interior x transmitância térmica para paredes externas com alta capacidade térmica





Fonte: adaptado de CHVATAL (2014).

De acordo com Chvatal (2014) a Figura 19(b) representa a cidade de Manuas, onde cada ponto corresponde ao dia típico de verão variando a transmitância térmica e absorvância das paredes externas, adotando capacidade térmica igual à (403 KJ/m².K) e propriedade térmica das coberturas constante. Já a figura 19(a) possui as mesmas características à anterior, porém com capacidade térmica das paredes exteriores menor (180 KJ/m².K).

Tambem na Figura 19, Chvatal (2014) demonstra os resultados para o dia típico de inverno, a qual a Figura 19(c) apresenta paredes com baixa capacidade térmica (180 KJ/m².K), e a Figura 19(d) paredes com alta capacidade térmica (403 KJ/m².K).

Chvatal (2014) conclui que o uso de paredes externas com alta capacidade térmica não influi significadamente no resultado demonstrado em simulação, tanto para verão quanto para inverno, e indica que não há necessidade de alterar os parametros propostos na ABNT NBR 15575 para verificação do desempenho térmico pelo procedimento simplificado.

6.2 Pesquisa realizada pelos autores Fernanda Pereira Gouveia e Marlon Braga dos Santos:

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL CONSTRUÍDAS EM PAREDES DE CONCRETO: UM ESTUDO DE CASO EM TUCURUÍ – PA

ANO: 2018 – ARTIGO CIENTÍFICO – REVISTA DE ENGENHARIA CIVIL

6.2.1 Objetivo

O objetivo do estudo foi avaliar o desempenho térmico de uma habitação de interesse social, localizada em um conjunto habitacional de nome Vivacidade (CHV), na cidade de Tucuruí, no estado do Pará, de acordo com a ABNT NBR 15575. Segundo Gouveia *et al* (2018), tal edificação foi construída com paredes de concreto armado moldado *in loco*, e o estudo prevê além da verificação do desempenho térmico desse sistema construtivo dentro da Norma, compara-lo ao sistema de construção mais utilizado na região: paredes de alvenaria com bloco cerâmico.

6.2.2 Objetivos específicos

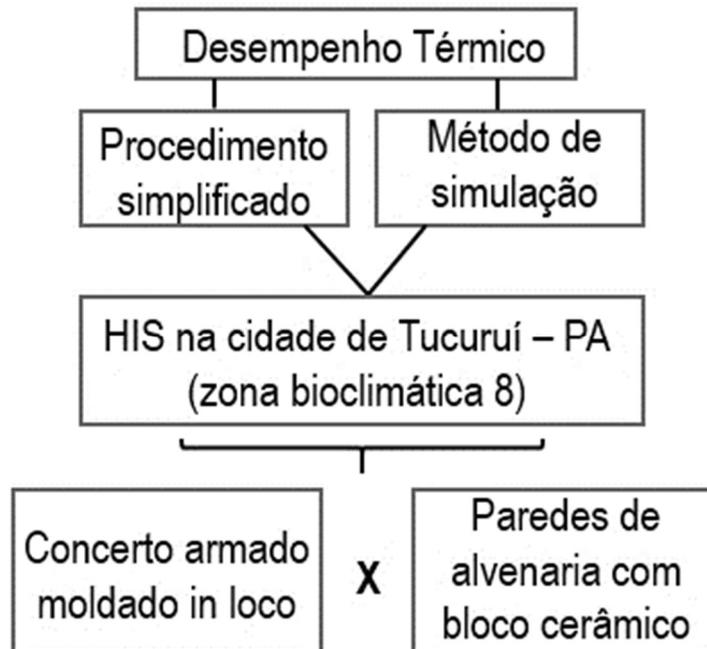
- Analisar através do procedimento simplificado e do método de simulação da ABNT NBR 15575, o desempenho térmico de uma habitação de interesse social construída com paredes de concreto armado moldado *in loco*, avaliando assim, a conformidade dos métodos de avaliação presentes na Norma;
- Realizar uma comparação entre o desempenho térmico alcançado com o sistema construtivo com paredes de concreto armado moldado *in loco* e o sistema comumente usado na região, a construção de paredes de alvenaria com bloco cerâmico;
- Verificar através da aplicabilidade da ABNT NBR 15575, qual o impacto das propriedades térmicas dos materiais sobre o comportamento da edificação.

6.2.3 Metodologia

De acordo com Gouveia *et al* (2018), os dados necessários para realização do estudo foram fornecidos pela construtora responsável pelo empreendimento, como áreas, divisões internas da habitação e materiais utilizados, além de visitas técnicas ao local.

Para determinar qual unidade do conjunto habitacional seria escolhida para a pesquisa, os autores optaram pela orientação solar que mais se assemelhasse ao determinado pela ABNT NBR 15575 para o dia típico de verão: fachada externa na orientação norte, e abertura voltada para o oeste. Lembrando que de acordo com a Norma, para a zona bioclimática 8, onde está localizada a cidade de Tucuruí-PA, não se faz necessária a verificação do dia típico de inverno.

Figura 22: Metodologia utilizada na pesquisa de Gouveia *et al*



Fonte: elaborado pela autora, a partir da pesquisa de Gouveia *et al* (2018).

6.2.4 Modelo da habitação de interesse social e localização

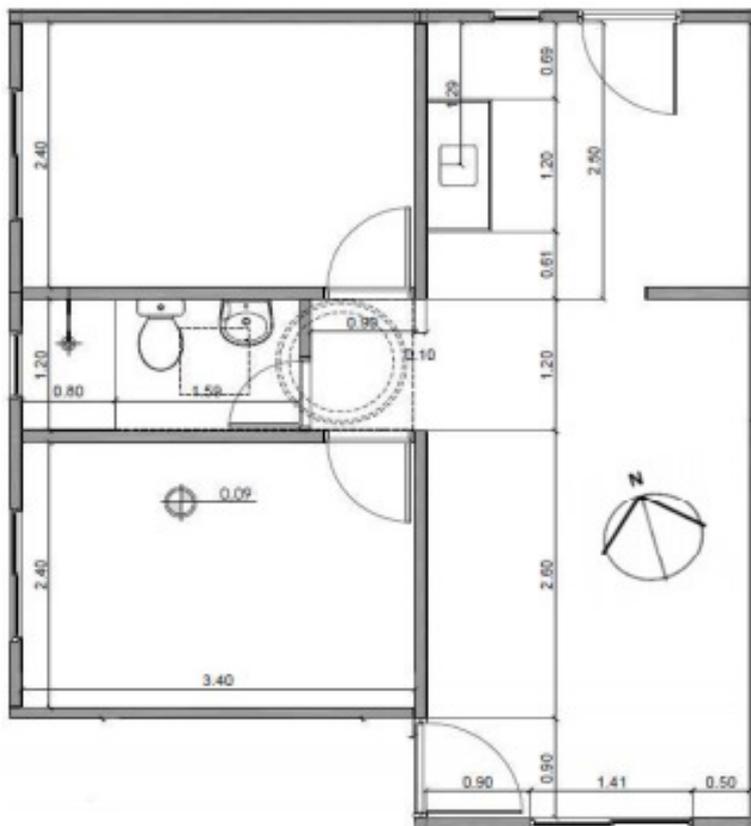
Segundo Gouveia *et al* (2018), o conjunto habitacional está localizado a 4km do centro da cidade de Tucuuruí, no estado do Pará. Os autores indicam ainda, que o empreendimento conta com 883 unidades e faz parte do Programa Minha Casa Minha Vida, sendo passível de financiamento.

Tucuuruí está localizada próximo ao Equador, e por isso, segundo Gouveia *et al* (2018), a cidade possui clima equatorial quente e úmido o ano todo, com valores de temperatura mínima entre 18°C e 22°C e máximas de 32°C e 36°C.

As edificações que compõe o conjunto habitacional em questão possuem localizações diferentes dentro de um mesmo lote, o que faz que com hajam três orientações solares distintas, além de serem compostas por duas tipologias também diferentes, contando com sala, cozinha, dois ou três dormitórios, circulação e banheiro, além de garagem a depender do tipo da habitação.

- T-2: residência com dois dormitórios, área total de 44,50 m², área útil de 40,56 m² e pé direito de 2,5 m;
- T-3: residência com três dormitórios, área total de 62,40m², área útil de 51,52 m² e pé direito de 2,5 m.

Figura 23: Planta baixa da habitação T-2 utilizada na pesquisa



Fonte: GOUVEIA *et al* (2018).

6.2.5 Características construtivas

De acordo com Gouveia *et al* (2018), na construção das paredes da edificação foi utilizado o concreto armado moldado *in loco*, as coberturas em telha de argamassa e forro de Policloreto de Vinil (PVC), e esquadrias internas de alumínio e vidro.

Figura 24: Características construtivas da habitação social de estudo



Fonte: GOUVEIA *et al* (2018).

6.2.6 Verificação através do procedimento simplificado

Foram verificados os requisitos necessários para alcançar o nível de desempenho mínimo, intermediário ou superior de desempenho térmico conforme ABNT NBR 15575. Quando os resultados obtidos fossem insatisfatórios para aprovação, os autores indicaram medidas que poderiam ser adotadas no projeto, resultando em uma melhora no desempenho da habitação.

6.2.7 Requisitos de desempenho térmico para vedações verticais

Analisando a transmitância térmica das vedações verticais, Gouveia *et al* (2018) obtiveram em sua pesquisa, resultado insatisfatório para o uso de paredes de concreto armado moldado *in loco*. O contrário ocorre com o uso de blocos cerâmicos, pois o material atinge o nível mínimo de desempenho.

Figura 25: Critério de transmitância térmica (U) para paredes externas

Sistema construtivo	α	Condição normativa	U (W/(m ² .K))	Avaliação de desempenho
Paredes de concreto	0,3	$U \leq 3,7$	4,40	Desempenho insatisfatório
Paredes de alvenaria com blocos cerâmicos	0,3	$U \leq 3,7$	2,49	Desempenho satisfatório

Fonte: GOUVEIA *et al* (2018).

Os autores indicam soluções que poderiam ser adotadas, para tornar o uso das paredes de concreto armado moldado *in loco* suscetíveis à aprovação pela ABNT NBR 15575. Uma delas seria “o acréscimo de 7,5 cm de espessura dos painéis de concreto externos, o que totalizaria paredes com 17,5 cm de espessura e diminuiria o valor da transmitância térmica para 3,7 W/(m².K)” (GOUVEIA *et al*, 2018), fazendo com que fosse alcançado o desempenho mínimo, porém, Gouveia *et al* (2018) afirmam que tal prática poderia encarecer a obra, uma vez que os custos com concreto aumentariam de forma considerável. Outra alternativa seria o uso de concreto com menor valor de condutividade térmica ($\leq 1,00$ m².K/W) mantendo a espessura das paredes (10 cm). Gouveia *et al* (2018) evidenciam que é de uso comum no Brasil, o concreto leve estrutural, que possui massa específica, isolamento térmico e acústico compatível com o concreto celular, e mecânica e durabilidade semelhantes ao concreto tradicional.

6.2.8 Requisitos de desempenho térmico para aberturas para ventilação

Para verificação do desempenho alcançado, os autores consideraram como aberturas para ventilação as portas da sala/cozinha localizadas nas fachadas norte e oeste, com dimensão de 2,10 x 0,80 cm; metade da abertura da janela na fachada sul, com dimensão de 1,40 x 1,20 cm; e as janelas dos quartos na fachada oeste com dimensão de 1,20 x 1,20 cm.

De acordo com o estudo de Gouveia *et al* (2018), dos ambientes de longa permanência, somente os quartos não alcançaram desempenho mínimo, o que indica que esses ambientes possuem área de ventilação insuficiente. Os autores apontam

como solução, aumentar o tamanho das aberturas para $0,98\text{m}^2$, e optar ainda, por utilizar janelas de abrir em duas folhas verticais, alcançando assim o desempenho satisfatório, como acontece com a sala/cozinha.

Figura 26: Desempenho das paredes externas de acordo com o critério de aberturas para ventilação

Cômodo	A_A (m^2)	A_P (m^2)	A (%)	A normativa (%)	Avaliação de desempenho
Sala/Cozinha	4,20	20,16	20,8	≥ 12	Desempenho satisfatório
Dormitório Q1	0,72	8,16	8,82	≥ 12	Desempenho insatisfatório
Dormitório Q2	0,72	8,16	8,82	≥ 12	Desempenho insatisfatório

Aa: área do ambiente | Ap: área de piso | área

Fonte: GOUVEIA *et al* (2018).

6.2.9 Requisitos para cobertura

Para a cobertura em questão utilizada na habitação, o desempenho encontrado é insatisfatório. Segundo Gouveia *et al* (2018), tal fato se explica pelo alto valor de emissidade superficial dos componentes. Os autores indicam como solução, a aplicação de isolante térmico nas telhas, o que diminuiria sua transmitância térmica; abertura do ático junto aos beirais; ou ainda, a pintura das telhas com cores claras de baixa absorvância, diminuindo o ganho solar da edificação através da cobertura.

Figura 27: Desempenho da cobertura de acordo com o critério de transmitância térmica (U)

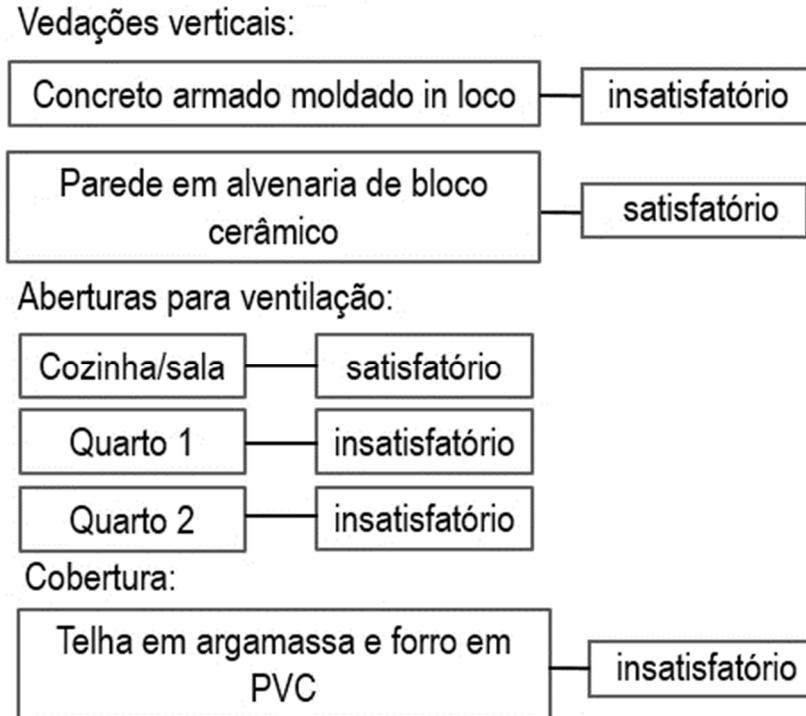
Sistema Construtivo	α	Condição normativa	U ($\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$)	Avaliação de desempenho
Telhas de argamassa e forro em PVC	0,74	$U \leq 1,5 \text{ FV}^*$	2,05	Desempenho insatisfatório

FV = 1, pois não há aberturas para ventilação.

FV = Fator de ventilação.

Fonte: GOUVEIA *et al* (2018).

Figura 28: Síntese dos resultados encontrados por Gouveia *et al*, através do procedimento simplificado



Fonte: elaborado pela autora, a partir da pesquisa de Gouveia *et al* (2018).

6.2.10 Verificação através do método de simulação

Nessa etapa foi analisado através do programa de simulação computacional EnergyPlus, o comportamento térmico da edificação como um todo. A ABNT NBR 15575 determina que, para simulação de conjuntos habitacionais, deve-se selecionar a unidade com maior número de paredes expostas. Assim, a seguir são apresentadas as especificações do modelo de habitação simulado.

6.2.11 Características da modelagem

Como orientado pela ABNT NBR 15575, Gouveia *et al* (2018) consideraram cada ambiente como uma zona térmica distinta. Para determinar a composição dos materiais utilizados na habitação, foram utilizados os dados de propriedades térmicas constantes na ABNT NBR 15220-2. Procurando realizar uma simulação mais próxima possível da realidade, não foram considerados obstáculos que pudessem impedir a incidência solar e de vento sobre a parte externa da edificação, exceto o beiral, presente no projeto e considerado como elemento de sombreamento.

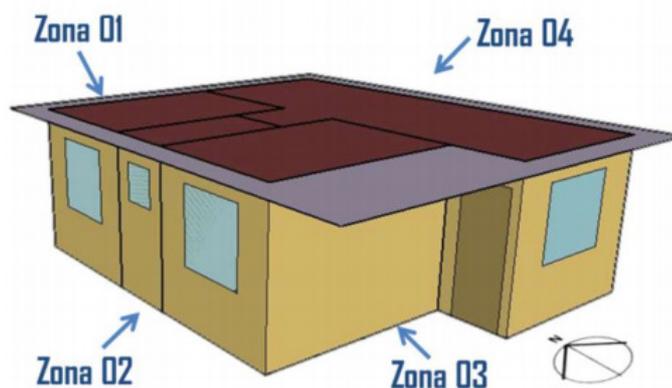
Gouveia *et al* (2018) simularam dois tipos de vedação: painéis de concreto interno e externo com espessura de 10 cm e resistência de 25 MPa; e blocos cerâmicos com dimensões de 9x19x19 cm e oito furos quadrados, que foram assentados no sentido de menor dimensão, com argamassa de assentamento de 1cm. A edificação não

conta com revestimento, sendo constituída somente de reboco em ambos os lados com argamassa comum de 2,5 cm, passando a espessura da parede a medir 14,5cm.

Foram simuladas as duas tipologias construtivas presentes no conjunto habitacional, para tal, considerou-se as mesmas características construtivas e de modelagem, mesmos materiais de cobertura e piso, além de orientação solar igual para ambas as construções. Assim, a simulação resultou em quatro zonas térmicas:

- zona 01: corresponde ao dormitório Q2. Possui uma janela na fachada oeste e uma porta interna na parede sul;
- zona 02: banheiro. Essa zona não foi considerada na análise, uma vez que não corresponde a um ambiente de longa permanência;
- zona 03: corresponde ao dormitório Q1. Possui as mesmas dimensões e aberturas que a zona 01;
- zona 04: representa a sala da unidade habitacional. Possui duas portas externas, uma na fachada norte e outra a oeste, além de uma janela na parede sul. (Gouveia *et al*, 2018)

Figura 29: Croqui em 3D da unidade habitacional e zonas térmicas simuladas



Fonte: GOUVEIA *et al* (2018).

Para verificar os dados climáticos para o dia típico de verão, Gouveia *et al* (2018) utilizaram na pesquisa o arquivo climático e coordenadas geográficas da cidade de Belém-PA, por ser a cidade mais próxima à Tucuruí, que não tem dados bioclimáticos fornecidos.

Figura 30: Coordenadas geográficas e dados dos dias típicos de verão para Belém-PA

Temperatura máxima diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	Temperatura de Bulbo Úmido (°C)	Latitude	Longitude	Altitude(m)
33,4	10,5	26,1	1.45 S	48.47 W	10

Fonte: GOUVEIA, *et al* (2018).

Para obter a temperatura superficial do solo, Gouveia *et al* (2018) utilizaram procedimentos padrão do Energy Plus:

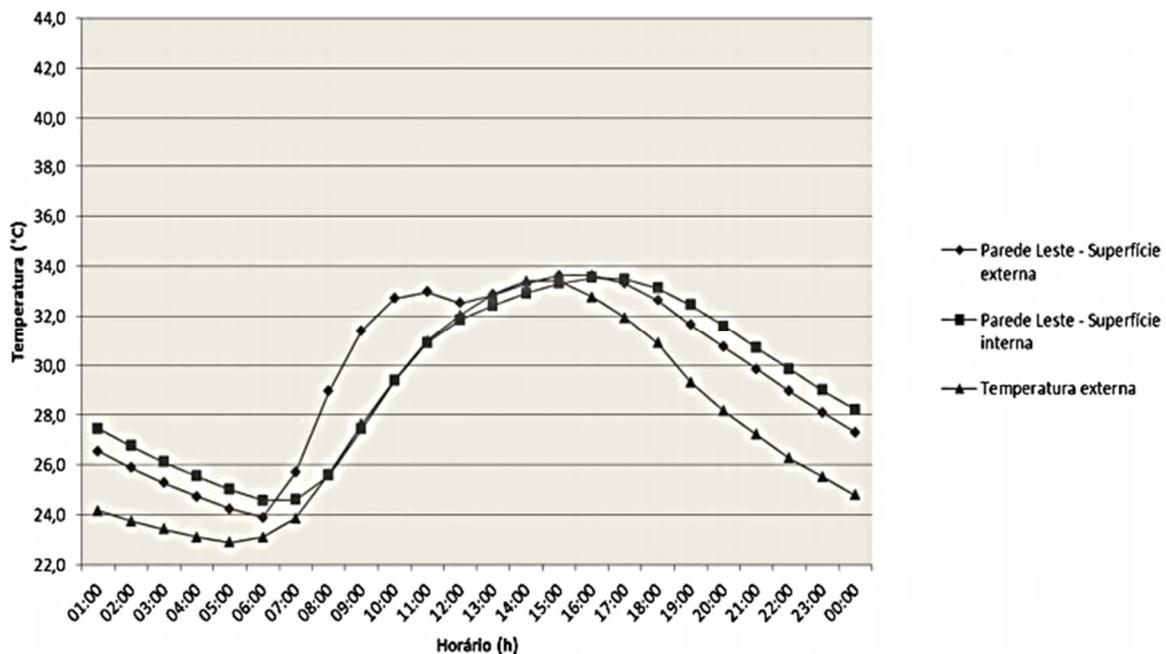
- a partir de um modelo simplificado, onde são utilizadas apenas as informações básicas para simulação, o programa gerou as temperaturas externas e internas mensais para as condições climáticas da cidade de Belém – PA;
- o valor padrão razoável para a temperatura superficial do solo adotado é de 2°C a menos que as temperaturas médias dos espaços interiores obtidas na etapa anterior. (Gouveia *et al*, 2018).

Na simulação os autores adotaram portas e janelas abertas durante o dia todo, resultando assim, em ventilação constante nas zonas térmicas simuladas. Para os valores de propriedades térmicas, considerou-se 0,3 para absorvância das vedações verticais e 0,74 para a cobertura.

O resultado é demonstrado em gráficos que conflitam a temperatura interna com a externa de cada zona simulada, gerando valores de temperatura média, temperaturas superficiais nas paredes, além de temperatura do ar na área externa.

Na figura 31 é apresentada a relação de temperaturas para a parede de concreto armado modado *in loco* na fachada leste (sala), onde pode ser observado que o período de aquecimento ocorre entre 07:00 e 16:00 horas, indicando segundo Gouveia *et al* (2018), que mesmo que não haja mais incidência solar direta, há ganho de temperatura pela superfície. A máxima externa registrada é de 33,6°C e a máxima interna é de 33,5°C. A máxima diferença entre a temperatura externa a interna é de 4°C, e ocorre às 09:00 horas.

Figura 31: Relação das temperaturas para a parede de concreto na fachada leste (sala)

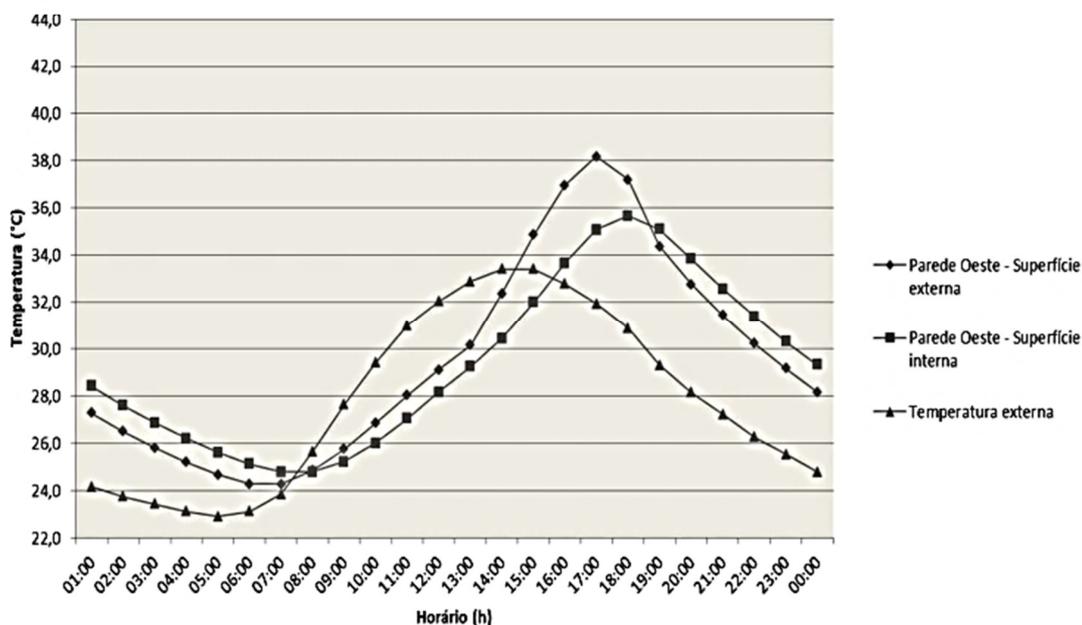


Fonte: GOUVEIA *et al* (2018).

A figura 32 traz a relação de temperaturas para a parede de concreto armado moldado *in loco* para a fachada oeste (quarto). O período de aquecimento acontece entre 09:00 às 18:00 horas, caracterizando essa orientação como a mais crítica segundo Gouveia

et al (2018), pois apresenta maior incidência solar durante grande parte da tarde, diferentemente da fachada leste. A maior temperatura externa registrada é de 38,2°C e a interna de 35,7°C. A maior diferença da temperatura externa para a interna foi de 3,3°C às 16:00 horas.

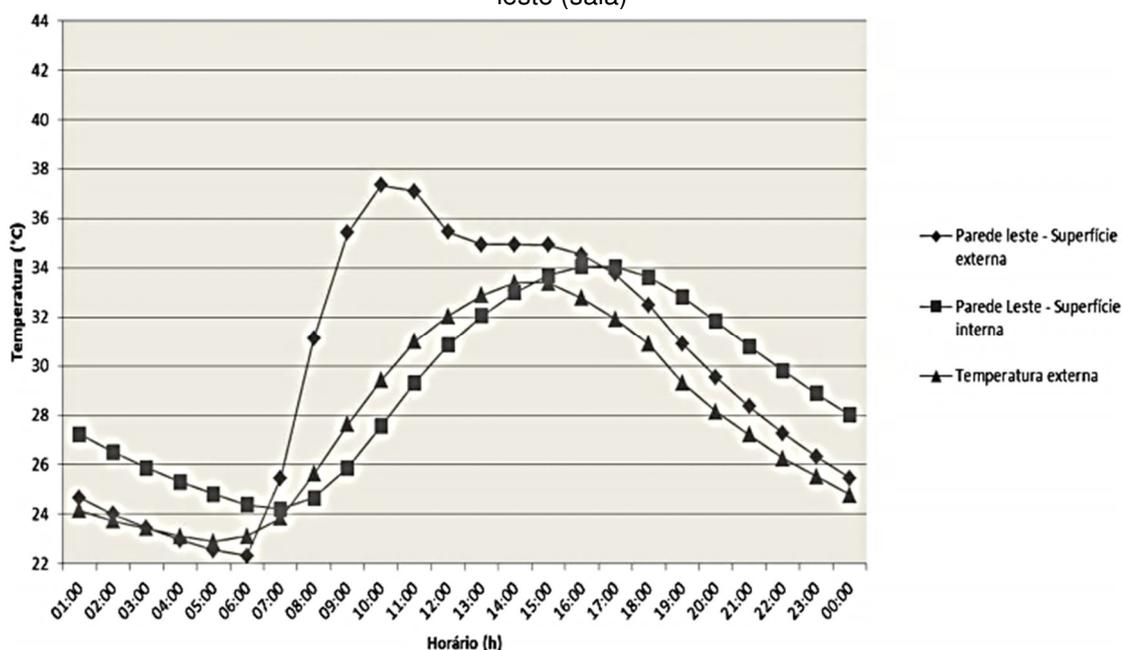
Figura 32: Relação das temperaturas para a parede de concreto na fachada oeste (quarto)



Fonte: GOUVEIA *et al* (2018).

Segundo Gouveia *et al* (2018), a figura 33 mostra que como acontece com o concreto armado moldado *in loco*, para o sistema de alvenaria em bloco cerâmico, o período de aquecimento ocorre entre 07:00 e 16:00 horas. O sistema apresenta temperatura máxima externa de 37,4°C e interna de 34,1°C. A maior diferença de temperatura interna e externa é de 9,8°C, ocorrendo às 10:00 horas.

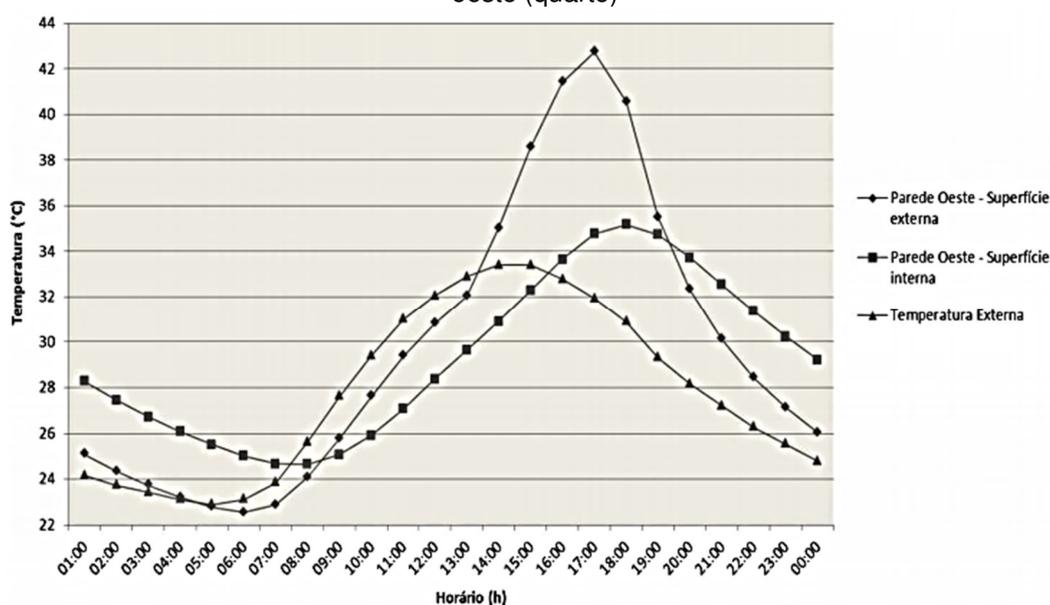
Figura 33: Relação das temperaturas para a parede de alvenaria com blocos cerâmicos na fachada leste (sala)



Fonte: GOUVEIA *et al* (2018).

Já para a fachada oeste (quarto) no sistema de alvenaria em blocos cerâmicos, como apresentado na figura 34, o período de aquecimento ocorre entre 09:00 às 19:00 horas. Durante esse tempo, Gouveia *et al* (2018) indica que a maior temperatura exterior observada foi de 42,7° e a maior temperatura interna de 35,2°C. Sendo que a maior diferença entre as máximas e mínimas apresentadas é de 8°C às 17:00 horas.

Figura 34: Relação das temperaturas para a parede de alvenaria com blocos cerâmicos na fachada oeste (quarto)



Fonte: GOUVEIA *et al* (2018).

De acordo com Gouveia *et al* (2018), os resultados demonstram que a parede de concreto transfere mais calor para dentro do ambiente, fazendo com que haja menor diferença entre a temperatura interna em relação a externa. Já no sistema de alvenaria em blocos cerâmicos, a capacidade térmica desse material é mais baixa, fazendo com

que o ambiente interno apresente temperaturas maiores ao longo do dia, indicando aí uma característica de inércia térmica.

Figura 35: Síntese dos resultados encontrados por Gouveia *et al*, através do método de simulação

Paredes de concreto – fachada leste:		
Aquecimento: 07h e 16h.	Máx. externa: 33,6°	Máx. interna: 33,5°
Paredes de concreto – fachada oeste:		
Aquecimento: 09h e 18h.	Máx. externa: 38,2°	Máx. interna: 35,7°
Paredes de alvenaria com bloco cerâmico – fachada leste:		
Aquecimento: 07h e 16h.	Máx. externa: 37,4°	Máx. interna: 34,1°
Paredes de alvenaria com bloco cerâmico – fachada oeste:		
Aquecimento: 09h e 19h.	Máx. externa: 42,7°	Máx. interna: 35,2°

Fonte: elaborado pela autora, a partir da pesquisa de Gouveia *et al* (2018).

6.2.12 Relação entre os resultados obtidos no procedimento simplificado e no método de simulação, para o desempenho térmico no verão

Observadas as temperaturas máximas de cada zona térmica simulada para ambos os materiais construtivos, Gouveia *et al* (2018) concluem que os dois sistemas alcançaram desempenho mínimo de acordo com a ABNT NBR 15575, pois como orienta a Norma, para o período de verão, a temperatura máxima interior deve ser menor do que a registrada na área externa.

A verificação de desempenho térmico realizada por Gouveia *et al* (2018) através do procedimento simplificado da ABNT NBR 15575 demonstrou que, os sistemas de vedação em concreto apresentam desempenho insuficiente, enquanto as vedações de alvenaria em blocos cerâmicos apresentam desempenho mínimo. Para os sistemas de ventilação, os quartos foram reprovados, enquanto a sala/cozinha atendeu ao requisito exigido. O sistema de cobertura por sua vez, foi reprovado.

Já através do método de simulação, Gouveia *et al* (2018) observaram que os mesmos sistemas construtivos foram aprovados obtendo o desempenho mínimo mediante a pouca diferença de temperatura máxima entre o ambiente interno e o externo. A simulação mostrou ainda, que o sistema de concreto por si só não apresenta influência significativa no desempenho da edificação, uma vez que outros fatores negativos podem ser considerados, como “falhas no posicionamento e nas dimensões das áreas efetivas para ventilação, pé-direito reduzido e alta transmitância térmica da cobertura” (GOUVEIA *et al*, 2018).

Gouveia *et al* (2018) indicam soluções construtivas que poderiam ser utilizadas para minimizar os impactos que as altas temperaturas de Tucuruí podem exercer sobre uma habitação mal planejada, gerando posterior desconforto ao usuário, como o uso de mecanismos de sombreamento que não afetem a ventilação da habitação, uma melhor escolha do tipo e dimensão das esquadrias, evidenciando assim, a importância

de se pensar em soluções ainda na fase de projeto, para que o usuário não necessite fazer o uso de equipamentos elétricos para resfriar o ambiente.

6.3 Pesquisa realizada pelos autores Ana Paula Melo, Deivis Luis Marinusk, Marcio José Sorgato e Roberto Lamberts

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO PELA NORMA NBR 15575 EM CONSULTA PÚBLICA EM 2012 – PROPOSTA PARA O MÉTODO DE SIMULAÇÃO DA NORMA DE DESEMPENHO NBR 15575

ANO: 2012 – NOTA TÉCNICA – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: LABEEE – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

6.3.1 Objetivo

A partir de sua criação em 2008, uma nova consulta pública da ABNT NBR 15575 foi proposta em 2012. Lamberts *et al* (2012) expressam nessa nota técnica, conceitos que devem ser revistos na Norma no âmbito do desempenho térmico das habitações, e recomendam nesse estudo, dentre outras sugestões, uma revisão do método de simulação.

6.3.2 Objetivos específicos

- Revisar o método de simulação proposto pela ABNT NBR 15575 e propor melhorias em sua metodologia.

6.3.3 Metodologia

Foi realizado por Lamberts *et al* (2012) um estudo que apresenta uma nova metodologia para verificar o desempenho térmico das envoltórias de habitações, propondo sua utilização na ABNT NBR 15575. A pesquisa compara o desempenho alcançado por uma edificação simulada pelo método proposto à uma edificação de referência que foi aprovada pelo procedimento simplificado.

6.3.4 Habitação sob avaliação pelo método de simulação proposto

6.3.5 Programa de simulação

Lamberts *et al* (2012) definem que o programa deve ter os seguintes requisitos:

- ser validado de acordo com testes propostos pela ASHRAE the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs;
- modelar 8.760 horas por ano;

- modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, ventilação natural e sistemas de condicionamento artificial, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;
- modelar efeitos de inércia térmica;
- modelar efeitos de multi-zonas térmicas;
- ter capacidade de simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto;
- produzir relatórios horários das trocas de ar e das infiltrações;
- produzir relatórios horários das temperaturas dos ambientes;
- produzir relatórios horários da carga térmica dos ambientes. (Lamberts *et al*, 2012)

Com exceção do requisito de validação do programa a ser utilizada na simulação ter aprovação da ASHRAE, da produção do relatório de temperatura dos ambientes por hora, e da consideração de estratégias bioclimáticas adotadas no projeto, todos os outros parâmetros não são contemplados atualmente pela ABNT NBR 15575.

6.3.6 Arquivo climático

Para uso na simulação, Lamberts *et al* (2012) definem que os dados dos arquivos climáticos devem ser gerados por instituições confiáveis, como universidade e centros de pesquisa, defendendo assim, que os arquivos climáticos disponibilizados devem fornecer toda a informação solicitada pelo programa de simulação, como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento, e ainda, radiação solar. Constata-se que a versão atual da Norma contempla as sugestões dos autores.

6.3.7 Características e orientação do projeto

Para modelagem da simulação, Lamberts *et al* (2012) definem que cada ambiente deve ser considerado uma zona térmica em separado, apresentando as características de forma, características construtivas, propriedades térmicas dos materiais e orientação, conforme apresentada em projeto. Já os ambientes de uso comum de um conjunto habitacional podem ser agrupados e simulados em conjunto. Nesse quesito, atualmente a ABNT NBR 15575 determina o seguimento desses mesmos requisitos, adotando ainda a premissa de que, quando não se tem a orientação definitiva da edificação, deve se considerar o posicionamento mais críticos dos ambientes para simulação tanto para verão, quanto para inverno.

6.3.8 Premissas para edificações multifamiliares

Em edificações multifamiliares, Lamberts *et al* (2012) indicam que devem ser modeladas todas as unidades de todos os pavimentos. Em pavimentos intermediários, piso e forro devem ser considerados na simulação, já na cobertura, deve-se levar em consideração também o piso da edificação, e no pavimento térreo, o forro. No modelo atual da ABNT NBR 15575, é determinado proceder com a análise das temperaturas em ambientes de longa permanência, e que assim como proposto pelos autores, as separações entre as unidades habitacionais devem ser consideradas com carga

térmica igual ao restante do ambiente simulado, e determina ainda que uma unidade habitacional com orientação mais crítica deve ser escolhida para simulação.

6.3.9 Sombreamento

Outro quesito apontado por Lamberts *et al* (2012), é de que o sombreamento proporcionado por outras edificações ou vegetações do entorno não devem ser considerados, os sombreamentos só serão considerados quando a edificação fizer sombra a ela mesma. Em sua atualidade, a Norma leva em consideração as recomendações dos autores.

6.3.10 Cargas internas do ambiente simulado

Lamberts *et al* (2012) sugerem que as cargas térmicas de iluminação e ocupação devem ser consideradas no processo de simulação para todo o ano, seguindo um padrão de ocupação e de uso de iluminação, sem considerar o ganho de carga interna por parte de equipamentos. Na versão atual da ABNT NBR 15575 não são consideradas as cargas térmicas provenientes de fontes de calor oriundas do próprio usuário, da iluminação da edificação e dos equipamentos utilizados.

6.3.11 Habitação aprovada por avaliação pelo procedimento simplificado

Para essa etapa do estudo foi utilizada por Lamberts *et al* (2012), uma edificação que atendesse aos requisitos impostos pela ABNT NBR 15575 em seu procedimento simplificado de avaliação de desempenho térmico. A envoltória da habitação utiliza materiais que atendem ao limite de absorvância, transmitância e capacidade térmica da Norma, e as janelas utilizadas contam com dispositivo de sombreamento, que têm como intuito garantir o escurecimento da habitação.

O período de sombreamento utilizado por Lamberts *et al* (2012) ocorre entre 21 de setembro a 20 de março, de 8 às 18 horas para as zonas bioclimáticas de 1 a 4, e nas zonas bioclimáticas de 5 a 8 considera-se o mesmo horário durante todo o ano. Salientando ainda, que o mesmo período de sombreamento deve ser adotado em ambos os métodos de avaliação do desempenho térmico, tanto o simplificado, quanto na simulação.

Figura 36: Valores de absorptância, transmitância e capacidade térmica adotados para a edificação avaliada pelo procedimento simplificado

Transmitância Térmica da Parede				
Zona 1 a 2			Zona 3 a 8	
$U_{par} \leq 2,5$	$\alpha_{par}^1 \leq 0,6$		$\alpha_{par} > 0,6$	
	$U_{par}^2 \leq 3,7$		$U_{par} \leq 2,5$	

Transmitância Térmica da Cobertura				
Zona 1 a 2	Zona 3 a 6		Zona 7 a 8	
$U_{cob} \leq 2,3$	$\alpha_{cob}^3 \leq 0,6$	$\alpha_{cob} > 0,6$	$\alpha_{cob} \leq 0,4$	$\alpha_{cob} > 0,4$
	$U_{cob}^4 \leq 2,3$	$U_{cob} \leq 1,5$	$U_{cob} \leq 2,3$	$U_{cob} \leq 1,5$

Obs.: ¹ α_{par} é a absorptância da parede; ² U_{par} é a transmitância da parede; ³ α_{cob} é a absorptância da cobertura; ⁴ U_{cob} é a transmitância da cobertura.

Fonte: LAMBERTS *et al* (2012)

A seguir é apresentada a capacidade térmica (CT) das paredes para a edificação de referência, para cada zona bioclimática.

Figura 37: Capacidade térmica das paredes dada as zonas bioclimáticas

Capacidade térmica (C_T) kJ / m ² .K	
Zonas 1 a 7	Zona 8
$C_T \geq 130$	Sem exigência

Fonte: LAMBERTS *et al* (2012).

A habitação aprovada através da avaliação pelo procedimento simplificado deve então, ser submetida a simulação computacional, considerando os mesmos parâmetros utilizados na edificação que foi submetida a simulação computacional através do método proposto por Lamberts *et al* (2012), realizando em seguida, uma comparação entre os valores encontrados.

A versão atual da ABNT NBR 15575 indica ainda que, os valores de temperatura interna devem ser parecidos com os valores de temperatura externa à sombra para o período de verão, e melhores que a temperatura externa para o período de inverno, não sendo comparados as temperaturas de graus horas para resfriamento e aquecimento como sugerido por Lamberts *et al* (2012).

Figura 38: Recomendações feitas em pesquisa por Lamberts *et al*, versus o que a Norma contempla em seu modelo atual

Programa de simulação

- ✓ Ser validado pela ASHRAE;
- ✗ Modelar 8.760 horas/ano;
- ✗ Considerar cargas de ocupação e iluminação por dia;
- ✗ Modelar efeitos de inércia térmica;
- ✗ Modelar multi-zonas térmicas;
- ✓ Simular as estratégias bioclimáticas de projeto;
- ✗ Produzir relatórios de troca de ar e infiltrações;
- ✓ Produzir relatório horários das temperaturas do ambientes;
- ✗ Produzir relatórios de carga térmica dos ambientes.

Arquivo climático

- ✓ Fornecido por instituições confiáveis, disponibilizando todos os dados climáticos necessários.

Características e orientações de projeto

- ✓ Simulação de cada ambiente como uma zona térmica distinta, considerando características de forma, construtiva e de propriedades térmicas dos materiais. Ambientes de uso comum podem ser agrupados em uma única zona.

Edificações multifamiliares

- ✓ Simulação de todas as unidades dos pavimentos, considerando piso e forro para pavimentos intermediários. Para orientação solar, escolher a unidade mais crítica.

Sombreamento

- ✓ Não devem ser consideradas sombras por edificações vizinhas ou vegetação. Somente se considera sombreamento, quando a edificação fizer sombra a ela mesma.

Cargas internas do ambiente simulado

- ✗ Considerar o ganho de carga térmica por iluminação e ocupação para o ano todo, sem considerar ganhos por uso de equipamentos.

Habitação aprovada pelo procedimento simplificado

- ✘ Considerar graus horas de resfriamento para verão, e graus horas de aquecimento para inverno;
- ✘ Submeter a edificação tanto ao procedimento simplificado quanto ao método de simulação, e comparar os resultados encontrados para se chegar a melhor solução.

Legenda:

- ✘ - Não contemplado na versão atual da ABNT NBR 15575;
- ✓ - Contemplado na versão atual da ABNT NBR 15575.

Fonte: elaborado pela autora, a partir da pesquisa de Lamberts *et al* (2018).

7 Comparação entre os resultados demonstrados no estudo da revisão bibliográfica

Chvatal (2014) ressalta a importância da criação da ABNT NBR 15575 para validar o desempenho das edificações no Brasil, lembrando seu surgimento junto as primeiras iniciativas para se garantir o adequado desempenho térmico das edificações no mercado da construção civil, como a ABNT NBR 15220-3. Porém, evidencia que a Norma ainda necessita de ajustes e revisões, nesse estudo, em torno das incoerências encontradas entre o procedimento simplificado e o método de simulação para determinar o desempenho térmico da habitação.

Antes de sua aprovação e publicação em 2013, a ABNT NBR 15575 já havia sido submetida a consulta pública, na qual Lamberts *et al* (2012) sugeriram mudanças no contexto da Norma, apontando sugestões para maior eficiência de sua aplicação. Dentre elas, a consideração de fatores que impactam no desempenho da edificação, como a defesa de uma maior área de ventilação em relação a área do ambiente verificado; o uso de dispositivos de sombreamento que sejam capazes de escurecer o ambiente, sendo possível seu controle por parte do usuário; e uma discussão sobre o método de simulação exposto na Norma, procurando seu aprimoramento.

Chvatal (2014) constatou que há uma inconformidade entre os métodos de verificação do desempenho térmico, a qual o procedimento simplificado não apresenta os impactos das propriedades termo físicas dos materiais na classificação de desempenho térmico, como é apresentado na verificação pelo método de simulação, o que pode levar a equívocos quanto a aprovação ou não da habitação.

Em sua pesquisa, Chvatal (2014) observou que para a zona bioclimática 1, além da transmitância térmica, a absorvância também influencia no desempenho alcançado pela edificação, não sendo levada em consideração no procedimento simplificado para essa zona bioclimática em específico, evidenciando que a consideração da importância de todas as propriedades térmicas dos materiais tem impacto significativo no desempenho que a habitação pode alcançar.

Lamberts *et al* (2012) argumentam ainda que, no modo como é exposto na ABNT NBR 15575, o procedimento simplificado prevalece sobre os demais métodos de verificação do desempenho térmico, e defendem que todos os métodos devem ter importância igual na Norma.

Já Chvatal (2014), defende que o procedimento simplificado deve se tornar mais representativo, e destaca sua importância, pois permite a rápida verificação da habitação de baixa complexidade, como é o caso das habitações de interesse social. Porém, deve refletir o mesmo resultado obtido através da simulação, garantindo a eficiência do método, e informando o real comportamento térmico e limitações da habitação.

Outra incoerência encontrada no texto da ABNT NBR 15575 por Lamberts *et al* (2012), é que a norma não deixa claro a qual procedimento de verificação de desempenho as habitações existentes devem ser submetidas. Além disso, Lamberts *et al* (2012) não concordam com a parte da Norma que diz que, em conjuntos habitacionais uma unidade deve ser escolhida para verificação a partir da condição mais crítica do ponto de vista térmico, justificando que esse processo é difícil de ser exercido, pois muitas variáveis impactam nessa escolha, como a orientação do local e sua nebulosidade em certo período do dia, e a sombra que a edificação de fronteira faz na habitação verificada, fatores esses que não são considerados pela ABNT NBR 15575.

Lamberts *et al* (2014) também realizaram um estudo no sentido de verificar se as características e temperatura do solo, e seu contato com a edificação, interferem diretamente no nível de desempenho da habitação no verão e inverno, através da simulação computacional utilizando o software EnergyPlus, sendo esse um parametro não estipulado pela ABNT NBR 15575.

Lamberts *et al* (2014) observaram no estudo, que “as condições do piso e seu contato com o solo” impactam de forma significativa na temperatura interior da edificação. Indicando ainda que, de acordo com a condição do piso da edificação, ela pode ser aprovada ou não pela Norma. Assim, é defendido que a ABNT NBR 15575 deveria “estipular a condição do piso da edificação a ser adotada na simulação, para que todos os casos fossem avaliados com o mesmo critério” (LAMBERTS *et al*, 2014).

Lamberts *et al* (2014) evidenciam ainda que a Norma só analisa a envoltória da edificação (paredes e cobertura), e não o todo, “cargas térmicas internas, condições de contato com o solo e ventilação natural”, permitindo avaliações que não indiquem o real comportamento térmico da habitação. Defendendo assim, uma revisão do procedimento simplificado, afim de torná-lo preciso e eficiente, e um aperfeiçoamento do método de simulação que leve em consideração, além das características da edificação, seu real uso, hábitos e preferências de cada cultura da população brasileira, dada sua região.

Assim como Chvatal (2014), Lamberts *et al* (2014) também evidenciam que o procedimento simplificado é de grande valia ao permitir uma rápida análise das edificações, mas apresenta incertezas nos resultados gerados e incoerência ao compara-los com o método de simulação.

Alvarez *et al* (2013) procuraram em sua pesquisa, analisar o método de simulação para verificação de desempenho da ABNT NBR 15575 para habitações ventiladas naturalmente, e em seguida, comparou-se esses resultados aos referenciais de conforto adotados pela ASHRAE. Tal estudo demonstrou que, os critérios utilizados para verificação são ineficientes. O uso de um dia típico de verão e inverno segundo a autora, já demonstra falhas no método, e quando se contrapõe esse parametro ao critério de análise, limites máximos de temperatura, pode-se gerar um resultado errado.

Do mesmo modo, Lamberts *et al* (2012) indica que o método de simulação não reputa a importância da variação anual de temperatura ao determinar um dia típico de verão e inverno, com temperaturas externas definidas dentro do período de 30 anos para determinar o desempenho térmico da habitação.

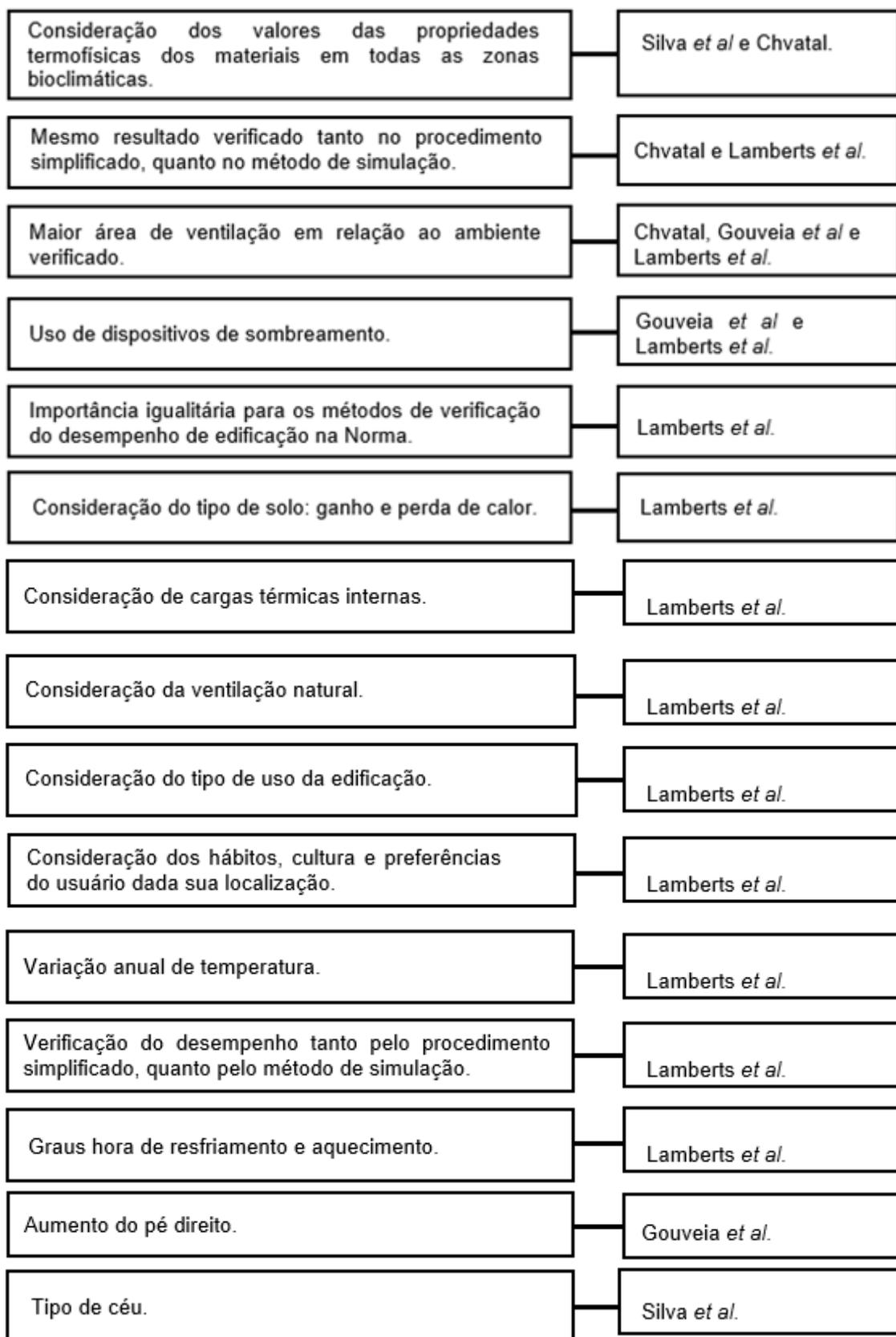
Segundo Alvarez *et al* (2013), a simulação definida pela ABNT NBR 15575 determina que o ambiente seja considerado desocupado, excluindo assim, ganho de calor tanto pelo usuário, quanto pelo uso de equipamentos e iluminação. Assim como defendido por Lamberts *et al* (2014), Alvarez *et al* (2013) também enfatizam que o calor gerado pelo uso de equipamentos na edificação impacta diretamente no conforto térmico, e por consequência, no desempenho alcançado por ela, e que, a não consideração desses ganhos internos, pode ocasionar erros no resultado, produzindo um método, por vez, simplificado e inábil.

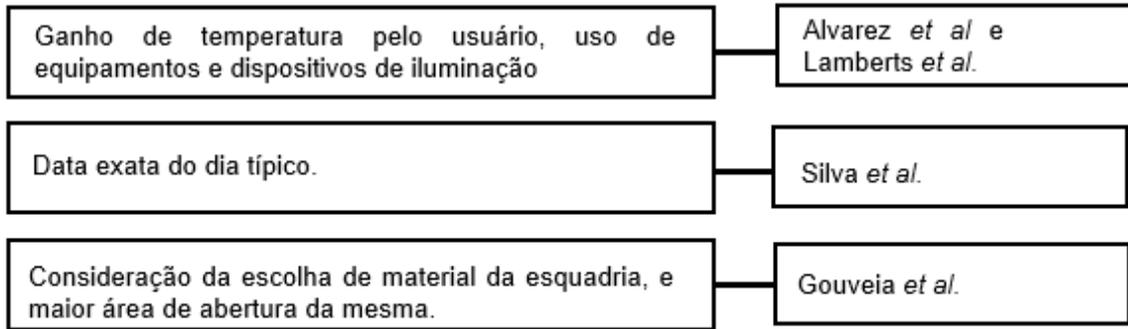
Silva *et al* (2016) também aponta em seus estudos, que não há compatibilidade entre o procedimento simplificado e o método de simulação da ABNT NBR 15575, e indica que, além da falta de consideração dos ganhos internos de temperatura mencionado por outros autores, outros fatores não são compreendidos pela Norma, como o tipo de céu, e a exata data do dia típico analisado, podendo não revelar totalmente qual o cenário apresentado pela edificação simulada.

Outra deficiência da Norma é exposta por Silva *et al* (2016), em sua pesquisa foi observado que ao atingir a temperatura mínima de 5° no ambiente para se atingir o desempenho mínimo para o dia típico de inverno, grande parte dos materiais simulados foi aprovado, o que demonstra, assim como observado por Chvatal (2014), que tais edificações poderiam ser aprovadas, sem ao menos ter suas características térmicas levadas em consideração dentro da zona bioclimática analisada, mostrando assim, mais uma incompatibilidade entre o procedimento simplificado e a simulação.

Pode-se observar portanto, que todos os autores estudados indicam uma nova revisão da Norma, buscando uma maior coerência entre os resultados encontrados no método de simulação e o procedimento simplificado, e levando em consideração fatores não contemplados por ela atualmente.

Figura 39: Relação entre as sugestões de diretrizes que deveriam ser incorporadas a ABNT NBR 15575, e os autores que às indicaram





Fonte: elaborado pela autora, a partir do estudo de referências bibliográficas realizado (2018).

8 CONCLUSÃO

Com a criação das habitações de interesse social, grande parte da população que fazia parte do déficit habitacional passou a ter acesso a moradias, principalmente, a partir de programas habitacionais criados pelo Governo, que tornou o sonho da casa própria real para essas famílias. Junto a esse advento, veio a construção em massa de edificações que muitas vezes, eram erguidas sem qualquer preocupação com o meio em que estão inseridas, suas características locais de clima e ambiente. Criou-se então, uma cultura construtiva, onde se gasta para resfriar ou aquecer ambientes que poderiam ter sido projetados de forma mais eficiente, gerando assim, um alto consumo da matriz energética e sensação de desconforto ao usuário.

A preocupação com o desempenho térmico das habitações, se deu a partir do momento em que o consumo energético por parte dessas edificações tomou grandes proporções, visando maneiras de otimizar esse consumo e garantir uma edificação eficiente, surge em 2008 com posterior revisão em 2013, a ABNT NBR 15575/4-5. Sua criação representa um grande avanço no campo da construção civil.

O presente estudo procurou identificar a compatibilidade ou não entre o método de simulação e o procedimento simplificado em torno do desempenho térmico das habitações, conforme proposto na ABNT NBR 15575, e o porquê de tal fato ocorrer. Como o trabalho se pautou na pesquisa desse requisito da Norma somente em habitações de interesse social em fase de projeto, não foi citado um método de verificação utilizado em construções já finalizadas, a medição *in loco*, que consiste em verificar a temperatura do ambiente utilizando equipamentos com esse propósito, contrapondo os dados encontrados aos referenciais da Norma.

Atualmente há uma grande discussão em torno da real eficiência da Norma, e o debate de ideias se faz necessário, para que se possa construir com mais qualidade desde a concepção do projeto à sua posterior execução, visando primeiramente, as necessidades do usuário.

Mesmo que represente grande valia para o setor, a NBR 15575 necessita de ajustes para seu aprimoramento, e é necessário rever os critérios utilizados em ambos os métodos de verificação do desempenho para que se busque um resultado igualitário entre eles, levando em consideração quesitos que, até então, não são incorporados a

Norma, como: os ganhos internos de temperatura por parte do uso de equipamentos, dos próprios usuários e de iluminação.

Além disso, são recomendadas a incorporação de outras diretrizes na Norma, que poderiam torna-la mais completa, como: definição de uma data específica para os dias típicos de verão e inverno e seu tipo de céu; análise do tipo de solo em que a edificação está implantada e seu impacto sobre a mesma; um maior estudo em torno das propriedades térmicas, que podem influenciar nos resultados apresentados; e a consideração dos hábitos e preferências dos usuários, além da cultura local.

De modo geral, pôde ser observado nesse estudo, que todos os autores defendem que as verificações de desempenho, seja por qual método for, deve demonstrar o real comportamento da edificação, e para tal, a ABNT NBR 15575/4-5 deve ser revista e aprimorada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ *et al.* **Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575.** Disponível em: < <http://lpp.ufes.br/conforto-e-desempenho-t%C3%A9rmico-em-contradi%C3%A7%C3%A3o-na-nbr-15575>> Acesso em: 25 de julho de 2018.

AMORIM *et al.* **Estudo comparativo da eficiência energética de uma habitação popular em alvenaria e em madeira no município de Ribeirão das Neves-MG.** In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo, 2016. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/308880945> > Acesso em: 28 de Março de 2018.

ASSIS *et al.* **Habitação social e eficiência energética: um protótipo para o clima de Belo Horizonte.** In: II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética – IICBEE. Espírito Santo, 2007. Disponível em: < <http://www.arq.ufmg.br/sustentabilidade/downloads/iicbee%20art173.pdf> > Acesso em: 20 de Março de 2018.

ASSIS *et al.* **Discussão dos requisitos e dos limites das propriedades térmicas para garantia de conforto térmico segundo as normas brasileiras.** Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212017000100183&script=sci_abstract&lng=pt>. Acesso em: 04 de Abril de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações. **Parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005. Acesso em: 15 de Outubro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: Desempenho Térmico de Edificações. **Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005. Acesso em: 15 de Outubro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações. **Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. Acesso em: 15 de Outubro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho. **Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. Acesso em: 15 de Outubro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho. **Parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. Acesso em: 15 de Outubro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-5: Edificações habitacionais – Desempenho. **Parte 5: requisitos para os sistemas coberturas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. Acesso em: 15 de Outubro de 2017.

AZEVEDO JR. **Regularização de assentamentos urbanos e sustentabilidade**. Cadernos Metrópole (PUCSP), n. 21, São Paulo, 2009. Disponível em: < <https://revistas.pucsp.br/index.php/metropole/article/view/5963> > Acesso em 29 de Março de 2018.

CALAZANS. **Análise da ABNT NBR 15575:2013 com ênfase em desempenho térmico**. Belo Horizonte, 2016. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-ASWKMA> >. Acesso em 28 de Março de 2018.

CARVALHO *et al.* **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, 2012, v. 12, n.1. Disponível em: < <http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/21333> > Acesso em 02 de Abril de 2018.

CBIC. **Desempenho de Edificações Habitacionais – Guia Orientado para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013**. Brasília, 2013. Acesso em: 18 de Abril de 2018.

CHVATAL. **Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico das habitações**. São Paulo-SP, 2014. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212014000400009&script=sci_abstract&lng=pt>. Acesso em: 10 de Setembro de 2018.

FABRÍCIO *et al.* **Conceitos de qualidade no projeto de edifícios**. In: Qualidade no projeto de edifícios, 2010. Disponível em < http://200.129.241.80/ppgeea/sistema/download_novo/download.php?arquivo=70.pdf&nome=Texto%3A+Conceitos+de+Qualidade+no+Projeto+de+Edif%C3%ADcios >. Acesso em 04 de Abril de 2018.

FERNANDES. **Programas de regularização fundiária em áreas urbanas: comentários e lições.** Oculum Ensaios (PUCCAMP), n. 6, Paraná, 2006. Disponível em: < <http://periodicos.puc-campinas.edu.br/seer/index.php/oculum/article/view/375> > Acesso em 28 de Março de 2018.

FROTA *et al.* **Manual de Conforto Térmico.** 8ª edição, São Paulo, 2007. Acesso em: 18 de Abril de 2018.

GOUVEIA *et al.* **Indicadores de desempenho térmico de vedações verticais externas relacionados com o custo de habitação de interesse social com base na norma de desempenho no Brasil.** RCT – Revista de Ciência e Tecnologia, Brasília – Distrito Federal, 2016. Disponível em: < <https://revista.ufr.br/rct/article/view/2515> >. Acesso em 29 de Março de 2018.

GOUVEIA *et al.* **Análise do desempenho térmico de habitações de interesse social construídas em paredes de concreto: Um estudo de caso em Tucuruí – PA.** Revista de Engenharia Civil, Tucuruí – PA, 2018. Disponível em: < <http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n55/Pag.5-18.pdf> >. Acesso em: 29 de Outubro de 2018.

LAMBERTS *et al.* **Análise do método de simulação de desempenho térmico da Norma NBR 15575.** In: XII Encontro Nacional e VIII Encontro Latino americano de Conforto no Ambiente Construído. Brasília, 2013. Disponível em: < <http://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/viewFile/12205/8544> >. Acesso em 02 de Abril de 2018.

LAMBERTS *et al.* **Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação de desempenho térmico em edificações residenciais.** Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212014000400007&script=sci_abstract&tlng=pt > Acesso em: 18 de julho de 2018.

LAMBERTS *et al.* **Nota Técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública – Proposta para o método de simulação da norma de desempenho NBR 15575.** Disponível em: < http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/NT_15515_FINAL.pdf >. Acesso em: 29 de Outubro de 2018.

LIMA T. **Análise de Desempenho térmico em edificações habitacionais: desenvolvimento de interface BIM para avaliações automatizadas segundo as normas ABNT NBR 15575 e ABNT NBR 15220.** Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: < http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/6/65/Tom%C3%A1s_Bastos_Lima.pdf >. Acesso em 04 de Abril de 2018.

MORENO *et al.* **Análise de desempenho térmico em habitação de interesse social em Montes Claros – MG.** In: Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: < <http://www.infohab.org.br/encac/files/2011/Top4art08.pdf> >. Acesso em 29 de Março de 2018.

MORENO. **Minha Casa Minha Vida: Análise de desempenho térmico pela NBR 15.220-3, NBR 15.575, Selo Casa Azul e RTQ-R 2013.** Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2013. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/AMFE-9HXPCY> >. Acesso em 28 de Março de 2018.

NASCENTES. **Análise da envoltória pela norma de desempenho – ABNT NBR 15575-4 e RTQR da tipologia de edifícios de habitação de interesse social em Belo Horizonte – MG.** Belo Horizonte, 2011. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/MMMD-AYKQ54>>. Acesso em 29 de Março de 2018.

SILVA *et al.* **Análise e compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15575: zona bioclimática 2.** Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212017000100305&script=sci_abstract&lng=pt>. Acesso em: 16 de julho de 2018.

SOUSA. **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.** Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011785.pdf> >. Acesso em 04 de Abril de 2018.