

Influência do forro no conforto térmico em habitação de interesse social

Influence of the ceiling on the thermal comfort in social housing

Fernando Sá Cavalcanti

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, Alagoas, Brasil.

E-mail: fernando.antonio@fau.ufal.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0352-6089>

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 11, n. 1, p. 71-92, janeiro-junho, 2022 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2022.v11i1.4619>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui/click here!](#)

Resumo

O objetivo deste trabalho é apresentar uma análise e discussão acerca da influência do uso de forro em cobertas com telhas cerâmicas e sem ático ventilado para habitações de interesse social. Embora as normas brasileiras recomendem o uso de ventilação na cobertura para edificações na zona bioclimática 8, o Regulamento técnico da qualidade permite o uso de telhas cerâmicas sem esta estratégia, o que pode comprometer o desempenho da edificação em seu uso e ocupação. Para esta avaliação, foram considerados três materiais na composição do forro (gesso, pinus e PVC) e altura do pé direito variando entre 2,35m e 2,70m em uma edificação padrão para cinco cidades alagoanas (Arapiraca, Coruripe, Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar), todas pertencentes à zona bioclimática 8. Foram realizadas simulações computacionais com o auxílio do software EnergyPlus® na sua versão 9.3 em um ano de referência. Os resultados foram apresentados considerando como base o desconforto obtido a partir dos dados climáticos para cada cidade com obtenção do percentual de desconforto em cada uma delas. Observou-se que o comportamento da edificação nestas cidades ocorre de forma distinta e ainda que estejam localizadas na mesma zona bioclimática, esta estratégia pode não ser uma boa solução projetual, pois embora possuam parâmetros aceitos para esta localidade, não promovem o conforto térmico desejável, reforçando a necessidade de inserir o processo de simulações computacionais nas fases iniciais do projeto para escolha do sistema construtivo que mais se adequa às realidades de cada cidade onde o projeto padrão será construído.

Palavras-chave: Pé direito; Materiais de construção; Alagoas; Energyplus; Zona bioclimática 8.

Abstract

The objective of this paper is to present an analysis and discussion about the influence of the use of ceiling in covered with ceramic tiles and without ventilated attic for social housing. Although Brazilian standards recommend the use of roof ventilation for buildings in the bioclimatic zone 8, the technical quality regulation allows the use of ceramic tiles without this strategy, which can compromise the performance of the building in its use and occupation. For this evaluation, three materials were considered in the composition of the ceiling (gypsum, pine and PVC) and height of the right foot varying between 2.35m and 2.70m in a standard building for five Alagoans cities, all belonging to the bioclimatic zone 8. Computer simulations were performed with the aid of the EnergyPlus® software in its version 9.3 in a reference year. The results were presented considering as base the discomfort obtained from the climatic data for each city with obtaining the percentage of discomfort in each one of them. It was observed that the building behavior in these cities occurs differently and even though they are located in the same bioclimatic zone, this strategy may not be a good design solution, because although it is within the accepted parameters for this location, it does not promote thermal comfort desirable, reinforcing the need to insert the computer simulation process in the initial phases of the project to choose the construction system that best suits the realities of each city where the standard project will be built.

Keywords: Ceiling height; Construction Materials; Alagoas; EnergyPlus; Bioclimatic zone 8.

1 Introdução

A Produção Habitacional no Brasil tem avançado de forma significativa desde a implantação do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) em 2009 sob operacionalização da Caixa Econômica Federal (CEF), sua proposta inicial foi a criação de 1 milhão de residências para a população de baixa renda em parceria com o setor privado, segundo dados do programa (BRASIL, 2009; RUFINO, 2015).

Esta tipologia habitacional é composta por moradias financiadas pelo poder público com vistas a diminuição dos valores do déficit habitacional nacional, regional ou local (CARDOSO; ARAGÃO, 2013). O problema inicial surge quando, mesmo sabendo das especificidades de cada região do Brasil que indicam características de projeto diferenciadas, os projetos das unidades habitacionais do PMCMV são repetidos para diferentes localidades e condicionantes projetuais (BARROS; BATISTA; BITTENCOURT, 2019).

Outro fator importante é que a provisão de habitações pelo PMCMV teve uma redução significativa devido à recente crise econômica (TUBELO et al., 2018). Além disso, os resultados do programa não são satisfatórios sob o ponto de vista qualitativo, uma vez que o mesmo padrão de construção vem sendo reproduzido em larga escala no território nacional, sem considerar as características climáticas locais (ALMEIDA, 2014). Alguns autores afirmam ainda que a maioria dos projetos de Habitação de Interesse Social – HIS prioriza somente os custos iniciais, desprezando o desempenho térmico da edificação a longo prazo (KOWALTOWSKI; GRANJA, 2011; TRIANA MONTES, 2016).

A NBR-15220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) divide o Brasil em oito zonas bioclimáticas, com características climáticas e recomendações projetuais distintas, para este trabalho foram avaliadas cidades localizadas na zona bioclimática 8, que ocupa a maior parte do território nacional (53,7% do território nacional).

Considerando os investimentos do governo brasileiro nos últimos anos na construção de habitações de interesse social (HIS) para famílias de baixa renda com o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), e considerando sua amplitude, é importante que o desempenho térmico destas habitações também seja analisado (GOUVEIA e SPOSTO, 2016) visando a melhoria da qualidade dos projetos, que há décadas, replicam as mesmas soluções e características projetuais (ARAGAO; HIROTA, 2016).

A quantidade de calor transferida através da cobertura para os ambientes internos da edificação depende de vários fatores, como o material dos elementos que compõem a cobertura (teto jardim, material da telha e do forro/laje), a cor do revestimento externo, a presença de material de isolamento térmico, da ventilação no ático além de processos

de migração de umidade e mudança de fase (MICHELS; GHÜTS; MARINOLSKI, 2019). Um componente dos sistemas de coberturas pouco estudado quanto ao seu impacto no desempenho térmico da edificação e conseqüentemente, conforto térmico dos usuários é o forro da edificação.

Para a construção de habitações unifamiliares de interesse social, lajes de concreto não são comumente utilizadas, o que poderia reduzir a transmitância da cobertura, no entanto, ao considerar os custos deste elemento, o forro é mais utilizado, sendo que para a Zona Bioclimática 8, o Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-R) que se baseia nas Normas de desempenho brasileiras (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2012) define que coberturas com telhas cerâmicas, sem forro, desde que não estejam pintadas ou esmaltadas, são aceitas para obtenção de um nível “A” de eficiência energética.

Observa-se também que poucos estudos e projetos consideram as vantagens de uma boa orientação solar, diretrizes bioclimáticas e ganhos energéticos através das envoltórias, que a implantação do edifício pode propiciar. Estas vantagens devem ser levantadas, principalmente, quando se considera que a produção de energia constitui-se em uma das principais questões a serem enfrentadas na cidade do século XXI (CALVILLO; SÁNCHEZ-MIRALLES; VILLAR, 2016) e o uso desta energia para condicionamento térmico mecânico em virtude de um mal desempenho térmico de edificações pode gerar danos econômicos e ambientais à sociedade.

Diante destes aspectos, o presente artigo tem como objetivo avaliar a influência da altura do pé direito, bem como do material de composição do forro no conforto térmico de usuários em habitações de interesse social unifamiliar para cidades alagoanas, pertencentes à zona bioclimática 8. Pretende-se então, contribuir para a tomada de decisões projetuais quando relacionado a construções com estas características, tornando possível a escolha dos materiais e dimensionamento do pé direito com o foco no conforto dos usuários.

2 Revisão Bibliográfica

O Brasil possui duas normas que tratam de desempenho térmico de edificações, em 2005 foi criada a primeira Norma Brasileira referente ao desempenho térmico em edificações, a ainda vigente NBR 15220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), que tem como objetivo diminuir o consumo de energia com condicionamento artificial e alcançar maior conforto térmico dos usuários por meios passivos e a NBR 15575, lançada em 2013 e recentemente revisada, insere o desempenho térmico como um dos quesitos a serem atendidos para obtenção de um alto nível de desempenho de edificações habitacionais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021).

O desempenho térmico das edificações pode ser traduzido como o comportamento do ambiente construído face aos parâmetros climáticos internos diante do clima externo local (SOARES; ADAMS; ULLMANN, 2016). Desta forma, as relações dos fechamentos de uma construção com o ambiente interno e externo dependem das características dos elementos e materiais que compõem o envelopamento assim como da capacidade do ganho, acúmulo e transmissão de calor externo.

A transmissão de calor pela envoltória da edificação é uma das principais variáveis envolvidas no projeto e na otimização climática (AKIYOSHI et al., 2001). A determinação do aquecimento e resfriamento são fundamentais para a compreensão das temperaturas internas resultantes. Isso pode ser considerado para qualquer material que compõe uma construção e promove trocas térmicas.

Hashimoto e Yoneda (2009) compararam diferentes alturas de teto e suas influências a partir da variação da ventilação e cargas térmicas internas. Os resultados mostraram que os ambientes com pé direito mais alto apresentam temperaturas mais próximas das de conforto, além de uma maior ventilação para renovação do ar nos ambientes internos.

Segundo Silveira, Cambuhy e Oliveira (2004), para construções térreas na cidade de Florianópolis, a cobertura recebe cerca de 72,30% da carga térmica total da edificação, enquanto as paredes recebem apenas 27,70% desta carga térmica, sendo este sistema determinante para um melhor desempenho térmico da edificação.

Gallardo et al. (2016) afirmam que bons resultados de avaliação de desempenho térmico dependem em grande parte da especificação de materiais e sistemas construtivos. Analisando com base em um clima quente e úmido do Equador, os autores observaram que uma escolha adequada de materiais pode reduzir em até 50% o número de horas de desconforto térmico de uma habitação, expondo a relevância de análise do tema.

Pires (2013) alega que sistemas de paredes e coberturas com baixas transmitâncias térmicas e alto atraso térmico são os mais favoráveis para obter níveis satisfatórios de desempenho térmico em climas temperados, como o do Rio Grande do Sul. Ainda, conclui que os tipos de clima do estado se comportam de forma distinta quanto às áreas envidraçadas, sendo que na região da serra gaúcha deve-se empregar áreas menores devido ao período de inverno, e na região metropolitana de Porto Alegre um aumento desta área é favorável ao desempenho.

A radiação emitida pelo forro da edificação quando em excesso, pode ocasionar efeitos negativos na sensação de conforto térmico e é bastante discutida em estudos científicos (OLESEN; PARSONS, 2002) por aumentar a assimetria térmica e alterar os índices de conforto. A ASHRAE Standard 55-2017 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, 2017) possui recomendações com base nos estudos de Fanger e sua equipe (FANGER et al,

1985) para determinar a assimetria de temperatura radiante máxima permitida com base na porcentagem de pessoas insatisfeitas.

Guimarães, Carvalho e Santos (2013) afirmam que a altura do pé direito influencia de forma direta no desempenho térmico da edificação, pois quanto menos for este valor, mais próximo dos usuários estará o ar quente acumulado no ambiente, devendo ser retirado por meio da ventilação natural pelas aberturas ou aumentando a altura do forro da edificação.

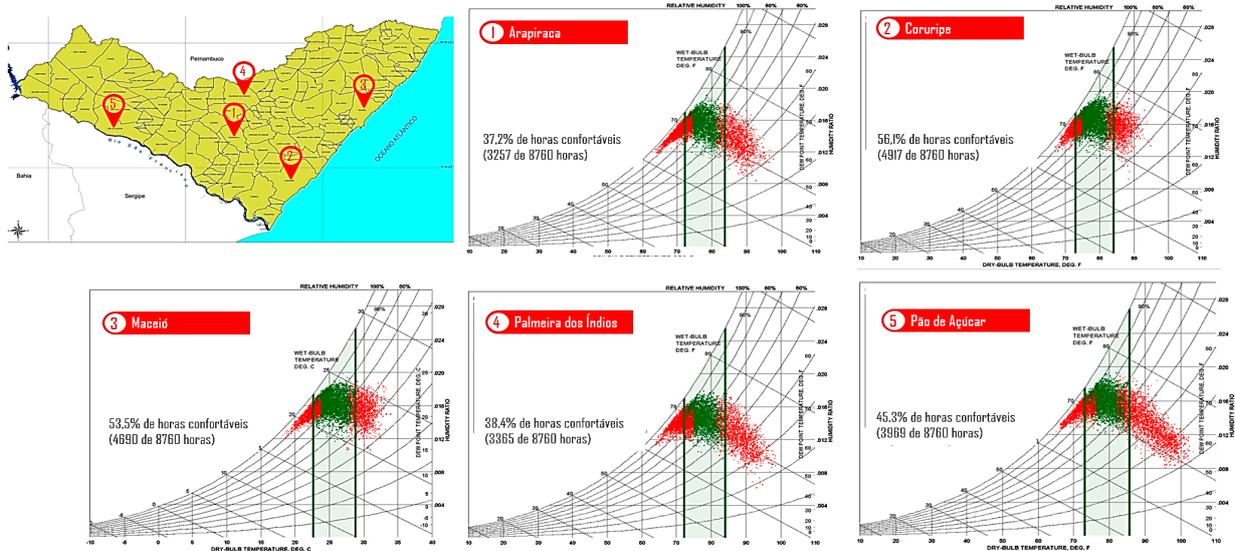
AlOtaib (2018) realizou uma análise por meio do software FloVent e demonstrou que a alteração da altura do teto (teto inferior 2,44m ou 8,0 pés) tem um impacto significativo quando se trata da distribuição da temperatura interna e nível de conforto térmico em um espaço de escritório.

Além disso, os resultados de Lam e Chan (2001) e Zhai e Chen (2004), em suas respectivas pesquisas sobre análise de ambientes térmicos através do software CFD (Computer Fluid Dynamics) mostraram variações de temperaturas em uma proporção direta com a distância entre o forro e o chão. No entanto, embora existam diversas conclusões que poderiam ser aplicadas a outros casos, os resultados de cada um representam um contexto específico e único.

Diversos estudos vêm sendo realizados com propósito de investigar a necessidade de isolamento da envoltória das edificações (DEVGAN; JAIN; BHATTACHARJEE, 2010; PEDRINI; WESTPHAL; LAMBERTS, 2002), principalmente em climas quentes e úmidos, como é o caso da maioria das cidades localizadas na zona bioclimática 8. Neste tipo de clima, a ventilação natural é a principal recomendação projetual para obtenção de conforto térmico por métodos passivos, no entanto, observa-se uma crescente disseminação do pensamento que o isolamento térmico pode trazer melhorias no desempenho da edificação.

Diante destes aspectos, esta pesquisa avaliou a influência do tipo e altura do forro para cinco cidades alagoanas, todas situadas na zona bioclimática 8, no entanto com comportamento climático diferentes. A Figura 1 apresenta esta diferença, indicando a porcentagem de horas em conforto para cada uma delas segundo as recomendações da ASHRAE-55 para 90% dos usuários em conforto.

Figura 1. Localização das cidades simuladas e indicação das horas em conforto para 90%, pela zona de conforto da ASHRAE-55 a partir da plotagem dos dados climáticos na carta bioclimática de Givoni



Fonte: Autoria própria, elaborado a partir do software Climate Consultant 6.0 (UCLA, 2016).

Passos (2009) analisou as características climáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar e identificou esta variação climática, demonstrando que embora pertençam à mesma zona bioclimática, necessitam de estratégias bioclimáticas distintas durante a elaboração do projeto de arquitetura.

Em relação ao atendimento de desempenho térmico em todo o Brasil, Moreno, Morais e Souza (2017) observaram que a utilização de materiais cerâmicos apresenta resultados normalmente superiores ao concreto, tanto em paredes quanto em coberturas. Além disso, afirmam que o emprego de cores claras nas superfícies externas é o que se apresenta como melhor alternativa, considerando as oito zonas bioclimáticas (ZB) brasileiras.

A altura do pé direito deve ser considerada como uma destas estratégias e é regulamentada pelos códigos de obras municipais. Para as cidades analisadas neste trabalho, nota-se que seus códigos de obras estabelecem diretrizes similares para a altura do pé direito, para as cidades analisadas, observou-se a recomendação de um pé direito mínimo de 2,50m, no entanto para a cidade de Maceió, há um artigo específico que estabelece uma exceção quando se trata de habitações de interesse social (PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAPIRACA, 2001; PREFEITURA MUNICIPAL DE CORURIBE, 1997; PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ, 2007; PREFEITURA MUNICIPAL DE PALMEIRA DOS ÍNDIOS, 2002):

Art. 318. Na habitação de interesse social, os compartimentos de permanência prolongada poderão ter pé-direito mínimo de 2,40 m (dois metros e quarenta centímetros), asseguradas as condições de iluminação e ventilação previstas nesta Lei. (PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ, 2007).

A cidade de Pão de Açúcar não possui legislação que regulamente o processo de construção em seu território, devendo então, para habitações de interesse social utilizar a legislação própria do Ministério das cidades (BRASIL, 2018).

Apesar destas regulamentações, principalmente para a cidade de Maceió, tem-se observado uma prática recorrente entre as construtoras que atuam na área de habitações de interesse social, ao adotarem a padronização de seus blocos (com 0,20m de altura), utilizam 12 blocos empilhados na representação do projeto que é aprovado na prefeitura (com pé direito de 2,40m) mas durante a execução, ao inserir o forro na edificação, esta altura mínima fica comprometida.

3 Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa, foram realizadas simulações computacionais a partir do software EnergyPlus®, na sua Versão 9.3 e avaliados os resultados em relação à porcentagem de horas em conforto e desconforto para cada cidade analisada.

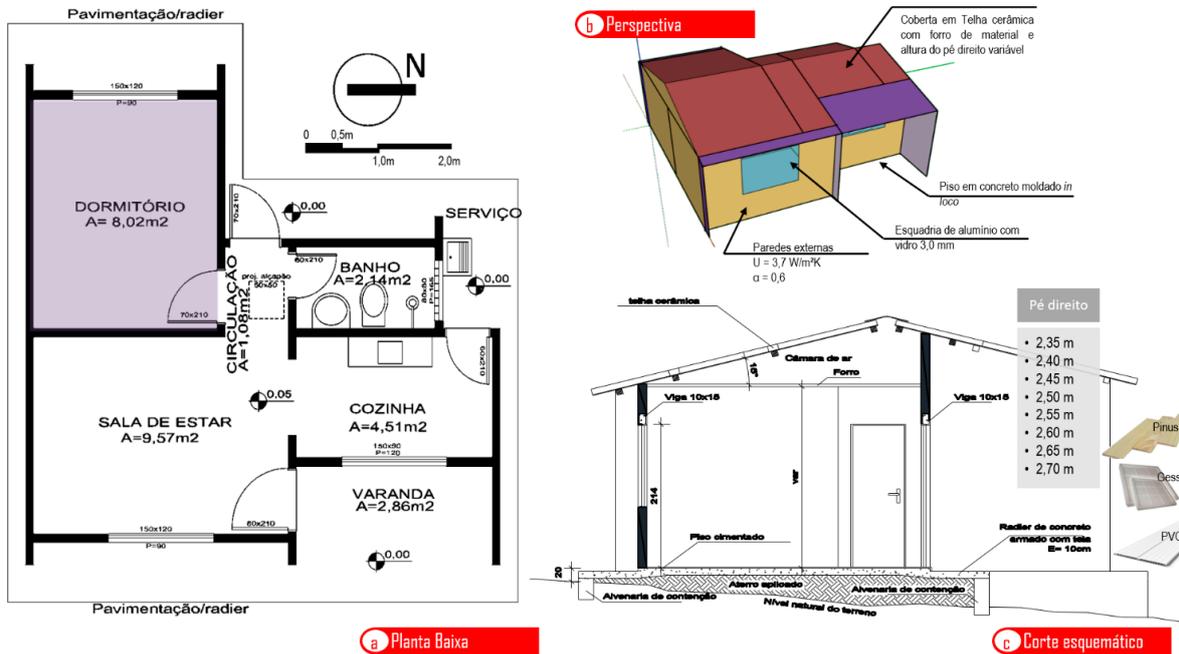
3.1 Descrição do modelo digital

O modelo analisado foi uma habitação padrão, com 32,35 m² e pé direito variável, considerado entre 2,35m e 2,70m com intervalos a cada 0,05m e composto por três materiais distintos, usualmente utilizados nesta tipologia: gesso, madeira (pinus) e policloreto de vinila (PVC).

A cobertura da edificação foi considerada em telha cerâmica, sem o uso de ático ventilado após a inserção do forro. Esta possibilidade é aceita pelo RTQ-R e não compromete o desempenho da edificação, no entanto, foram analisados apenas modelos dotados de forro para que a altura do pé direito pudesse ser comparada em cada caso, tornando possível a escolha na especificação deste sistema por parte de profissionais de projeto que atuam nestas cidades.

A edificação foi implantada com a abertura do dormitório orientada para o oeste e assim, possibilitando analisar o desempenho desta edificação em situação crítica (Figura 2).

Figura 2. Planta Baixa (a), Perspectiva (b) e Corte esquemático (c) da Edificação analisada com destaque para a zona analisada (Dormitório), variação do pé direito da edificação e materiais adotados para o forro



Fonte: Autoria própria. Adaptado do Banco de Projetos da Caixa Econômica Federal, (CEF, sd).

As paredes externas foram simuladas com propriedades nos limites estabelecidos pela NBR-15575 e RTQ-R que estabelecem uma transmitância (U) máxima de $3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. este valor é um pouco acima do estabelecido pela NBR-15220 ($3,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) o que configura um conflito nas normas vigentes no Brasil.

As propriedades termofísicas da envoltória da edificação estão apresentadas na Tabela 1, sendo calor específico (c), densidade (δ) e condutividade térmica (λ) os dados necessários para as simulações computacionais realizadas.

Tabela 1. Dados e propriedades dos sistemas da envoltória

	Paredes		Coberturas		Piso
	Internas	externas	Forro	Telha	
e (m)	0,09	0,15	0,015	0,04	0,10
c kJ/(kg.K)	1700,00	1005,00	var	2000,00	4200,00
δ (kg/m ³)	820,00	1600,00	var	960,00	1005,00
λ W/(m.K)	0,83	0,55	var	0,93	1,75

Fonte: O autor.

A Tabela 2 apresenta estas propriedades para os materiais adotados na composição do forro da edificação, escolhidos por serem os materiais utilizados com maior frequência e foram identificados a partir de uma observação empírica, quando há presença de forro em habitações de interesse social no estado de Alagoas.

Tabela 2. Propriedades termofísicas dos materiais utilizados no forro do modelo digital

	Pinus	Gesso	PVC
calor específico - kJ/(kg.K)	1340,00	840,00	960,00
densidade (kg/m ³)	500,00	750,00	1300,00
condutividade térmica - W/(m.K)	0,07	0,35	0,20

Fonte: O autor.

3.2 Descrição do processo de simulações

Para o processo de simulações, tem-se observado uma crítica frequente quanto ao o fato de a NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021) não considerar a simulação anual horária pois este tipo de simulação poderia representar melhor o desempenho do edifício, indicando os graus-hora de desconforto por calor e/ou frio ao longo do ano com base em recomendações já estabelecidas na literatura (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2013; CHVATAL, 2014), assim, para este trabalho, foram realizadas simulações horárias para um ano típico.

Este ano típico foi considerado ao utilizar os arquivos climáticos (extensão .epw) para as cidades de Arapiraca, Coruripe, Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar que estão disponíveis no sítio do Laboratório de Eficiência Energética das Edificações (LabEEE) por ser considerado mais próximo da realidade local. Estes arquivos foram elaborados a partir da base de dados do INMET e estão disponíveis como parte de uma base de dados de 411 municípios brasileiros (RORIZ, 2012).

Para as trocas térmicas por convecção, foi considerada nesta análise uma renovação de ar de 5ren/h na edificação, conforme recomendado pela norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021), que ao simular para uma taxa de ventilação de 5 ren/h, ocorre uma aproximação da temperatura interna da edificação à temperatura externa.

O contato entre a edificação e o solo foi modelado com o auxílio do Ground Domain: Slab (Figura 3). Este objeto do EnergyPlus® é capaz trabalhar com diferentes configurações para camadas de isolamento térmico, adotando um modelo de diferenças finitas implícito para obter as temperaturas do solo (MAZZAFERRO; MELO; LAMBERTS, 2015).

Figura 3. Modelagem do Ground Domain no EnergyPlus®

Field	Units	Obj1
Name		Slab
Ground Domain Depth	m	10
Aspect Ratio		1
Perimeter Offset	m	5
Soil Thermal Conductivity	W/m-K	1.5
Soil Density	kg/m3	2800
Soil Specific Heat	J/kg-K	850
Soil Moisture Content Volume Fraction	percent	30
Soil Moisture Content Volume Fraction at Saturation	percent	50
Undisturbed Ground Temperature Model Type		Site:GroundTemper.
Undisturbed Ground Temperature Model Name		metodo
Evapotranspiration Ground Cover Parameter		0,4
Slab Boundary Condition Model Name		Ground
Slab Location		OnGrade
Slab Material Name		
Horizontal Insulation		No
Horizontal Insulation Material Name		
Horizontal Insulation Extents		Full
Perimeter Insulation Width	m	
Vertical Insulation		No
Vertical Insulation Material Name		
Vertical Insulation Depth	m	
Simulation Timestep		Timestep
Geometric Mesh Coefficient		1,6
Mesh Density Parameter		6

Fonte: Adaptado de EnergyPlus®, 2020.

A ocupação e as cargas térmicas internas no dormitório foram consideradas as seguintes: 02 pessoas com permanência entre as 21 horas e 06h 59min, com atividade metabólica de 45 W/pessoa o que representa uma atividade de repouso, além de iluminação de 5,0 W/m² no período de permanência dos usuários neste ambiente. Para cozinha/sala de estar conjugada, utilizou-se a ocupação de 14h às 21h, com iluminação ligada das 17h às 21h, atividade metabólica de 60 W e densidade de potência de 6 W/m² (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2012).

As simulações computacionais foram realizadas com dados de saída que quantificaram os ganhos de calor interno advindos de sistemas de iluminação artificial e equipamentos e por meio dos fechamentos transparentes e as temperaturas do ar no interior dos ambientes.

3.3 Análise dos resultados

Em seguida, foi realizada a análise do conforto térmico, que ocorreu a partir dos requisitos adequados de conforto indicados pela ASHRAE 55 (2017). Para avaliar os níveis de conforto térmico resultantes de cada alternativa, adotou-se os intervalos confortáveis de temperatura estabelecidos na Norma ASHRAE 55-2017 para ambientes naturalmente ventilados (Equação 1). Importante virtude dessa norma é seu caráter adaptativo, ou seja, o reconhecimento de que populações aclimatadas em regiões quentes preferem temperaturas mais altas que as preferidas pelos habitantes de zonas frias, e vice-versa.

$$T_n = 17,9 + 0,31 \cdot TE_{med} \quad (1)$$

Onde:

T_n = Temperatura operativa interna ideal, ou de “neutralidade térmica” (°C).

TE_{med} = Média mensal da temperatura do ar exterior (°C)

Sendo a equação 1 válida para TE_{med} entre 10.0°C e 33.5°C. De acordo com a ASHRAE 55 (2017), para espaços naturalmente condicionados faz-se uso do método adaptativo. A teoria adaptativa determina que ao ocorrer mudanças de temperatura que causem desconforto, as pessoas reagem de forma a tentar fazer com que seu corpo retorne ao estado de conforto (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, 2017).

A ASHRAE-55 estabelece a zona de conforto térmico a partir de um intervalo de temperaturas confortáveis, com limite superior dado por T_{sup} e o inferior T_{inf} . Para esta análise, o trabalho adotou a tolerância de 2.4 °C, que satisfaz a 90% dos usuários.

Os níveis de desconforto térmico foram quantificados em horas de desconforto por calor e por frio. Cada hora de desconforto corresponde ao período determinado pela temperatura do ar interna quando esta é menor que o limite inferior (frio) ou ultrapassa o superior (calor).

A partir deste valor, utilizou-se um total de 8760 horas/ano para obter a porcentagem (%) de horas em que a edificação proporcionava um desconforto térmico aos usuários e assim verificar de forma prática o desempenho desta edificação nas condições analisadas.

Foram adotados os valores de referência para cada cidade, o desconforto total obtido pela plotagem dos dados dos arquivos climáticos utilizados nas simulações na carta bioclimática de Givoni com o auxílio do software Climate Consultant (UCLA, 2006), devendo ocorrer dentro da edificação um desconforto abaixo deste valor para ser considerado minimamente satisfatório (Tabela 3).

Tabela 3. Desconforto térmico mínimo adotado para cada cidade considerada nesta análise

cidade	Desconforto mínimo (%)
Arapiraca	62,8
Coruripe	43,9
Maceió	46,5
Palmeira dos Índios	61,6
Pão de Açúcar	54,7

Fonte: Autoria própria, elaborado a partir dos dados do software Climate Consultant 6.0 (UCLA, 2016).

4 Resultados e Discussões

A partir das simulações realizadas, foram analisados os resultados em função do material utilizado, considerando o pé direito permitido para cada cidade analisada e em seguida a influência do pé direito, considerando todos os materiais estudados nesta pesquisa.

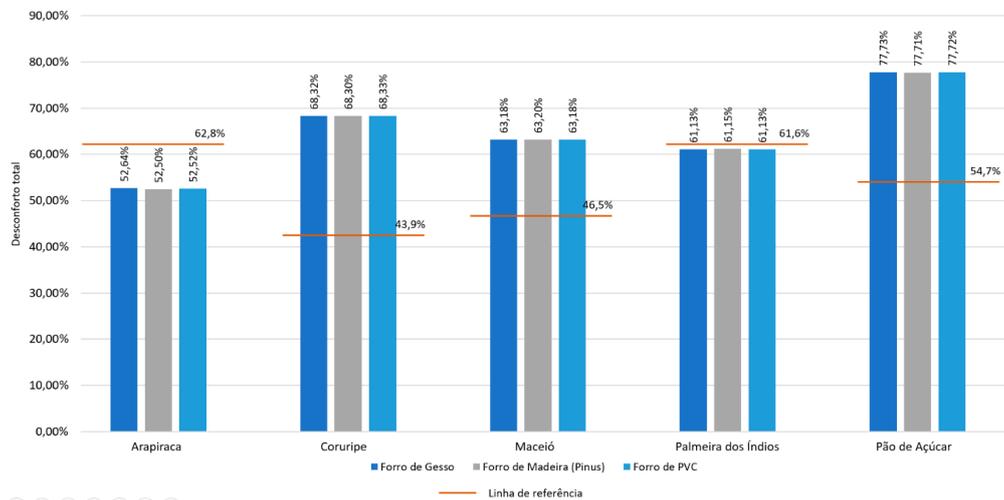
4.1 Influência do material utilizado

Para verificar a influência do material utilizado no forro, foi considerado o pé direito estabelecido pela legislação vigente (2,50m) para todas as cidades e para a cidade de Maceió, além deste valor, foi analisado o pé direito da edificação com 2,40m, permitido pelo código de obras e verificado nos dois casos o impacto no conforto térmico.

Para a altura de 2,50m, observou-se que embora o forro de pinus proporcione uma menor transmitância da coberta, não há uma redução significativa do conforto térmico nesta tipologia de edificações.

A Figura 4 apresenta estes dados e é possível observar que o comportamento de uma edificação padrão em cidades diferentes, ainda que pertencentes à mesma zona bioclimática, ocorre de forma distinta para cada caso, confirmando a conclusão apresentada por Passos (2009).

Figura 4. Desconforto total para as cidades analisadas considerando o pé direito de 2,50m



Fonte: O autor, 2020.

Apenas as cidades de Arapiraca e Palmeira dos Índios apresentaram um resultado satisfatório, com desconforto no ambiente interno menor que o desconforto no ambiente externo, sendo a segunda, com valores muito próximos do limite considerado neste trabalho.

Para as cidades de Maceió e Palmeira dos Índios, o forro de madeira (pinus) representou um pequeno acréscimo no desconforto térmico, entre 0,02% e 0,04%. Este dado representa uma variação que pode ser considerada mínima quando se analisa as 8760 horas/ano e não representa um grande impacto no desempenho da edificação.

Nas demais cidades o ganho no conforto térmico com o uso de um forro com menor transmitância gerou uma diminuição no desconforto abaixo de 0,5%, indicando que o material do forro não afeta significativamente neste parâmetro. Deve-se, portanto, ao variar o material do forro, verificar o custo/benefício de cada escolha adotada no projeto.

Ao analisar esta variável para os materiais utilizados neste trabalho, observou-se que o forro de madeira apresenta menor custo na sua instalação (Tabela 4) e para esta tipologia de habitação pode ser uma solução melhor aproveitada pelos construtores.

Tabela 4. Custo por metro quadrado dos sistemas de forro analisados neste trabalho

CÓDIGO	ESPECIFICAÇÃO	UNID	CUSTO UNITÁRIO
01775/ ORSE	Forro de gesso, em placas 60x60 cm, sem madeiramento para fixação, sob telhado	m ²	R\$ 25.00
01022/ ORSE	Forro de madeira de pinos, em régua de 10 cm	m ²	R\$ 18.90
01019/ ORSE	Forro de pvc, em régua de 10 ou 20 cm, cor branca ou palha, aplicado, inclusive estrutura de fixação (perfis PVC Plastilon) ref:Araforros ou similar	m ²	R\$ 29.90

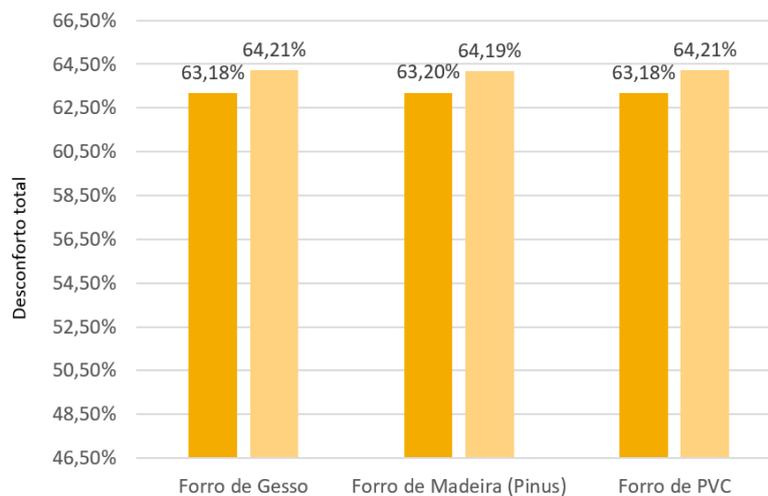
Fonte: ORSE, 2020.

Em geral, esta tipologia é reproduzida em série e ao avaliar os custos de um determinado serviço da obra, toda diferença de preço deve ser considerada, pois pode gerar uma economia significativa ao final do processo.

Para a cidade de Maceió, embora exista a recomendação por meio de Lei Federal que o pé direito para HIS seja no mínimo 2,50m, o código de obras e edificações permite um pé direito abaixo deste valor, com 2,40m, podendo comprometer ainda mais o desempenho da edificação.

A Figura 5 apresenta o aumento no desconforto térmico que ocorre ao reduzir o pé direito da edificação (neste caso, em 10 centímetros) com incremento de aproximadamente 1,0% de desconforto. Na prática, este valor representa entre 80 e 90 horas a mais de desconforto térmico durante o ano, podendo ser considerado indesejado pelos usuários.

Figura 5. Desconforto térmico total na cidade de Maceió para alturas de pé direito de 2,40m e 2,50m



Fonte: O autor, 2020.

Reduzir o pé direito da edificação significa trazer a superfície emissora da radiação absorvida pela cobertura para mais próximo do usuário, elevando a temperatura dos ambientes internos, aumentando o desconforto por calor e causando uma assimetria da radiação, que pode provocar o que se conhece como desconforto térmico localizado.

4.2 Influência da altura do pé direito

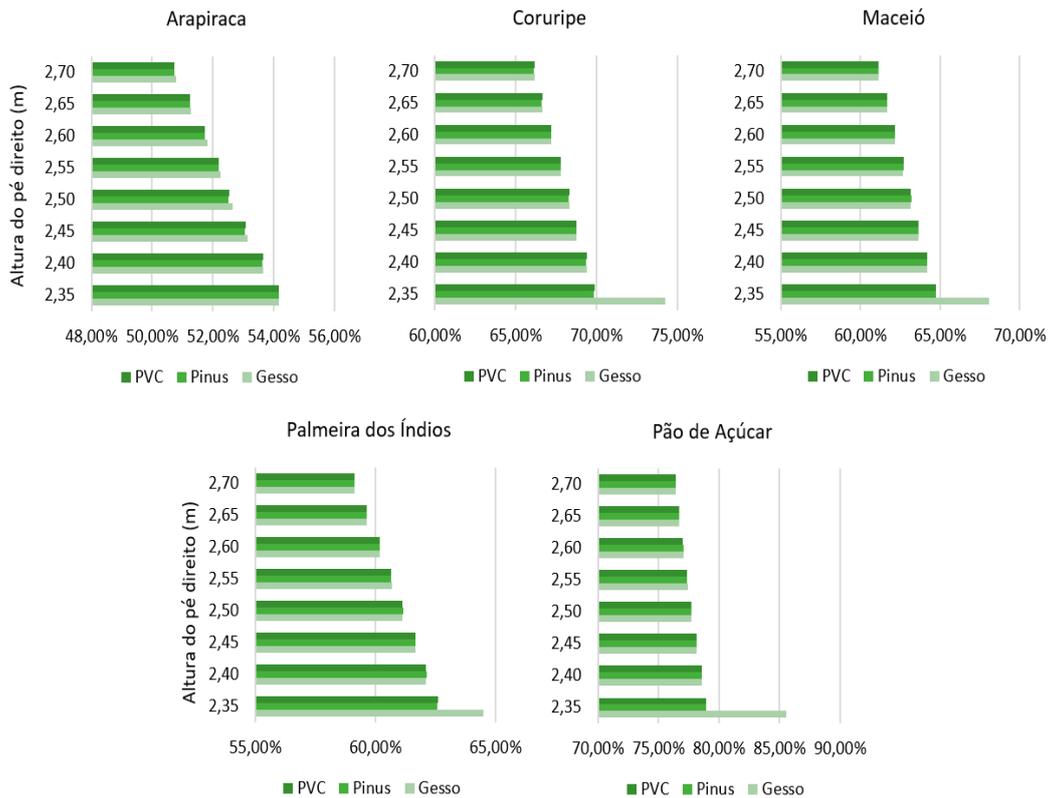
Neste sentido, foi realizada a análise da influência da altura do pé direito da edificação para todas as cidades consideradas neste estudo, com variação entre 2,35m e 2,70m, em intervalos a cada 5 centímetros com o intuito de acompanhar a variação do conforto térmico em função desta variável.

Esta análise foi importante por permitir identificar a ordem de grandeza e o comportamento do desconforto térmico a partir da variação da altura do ambiente, que pode reduzir a assimetria térmica e elevar o volume de ar na edificação à medida em que o pé direito aumenta.

A altura de pé direito com 2,35m foi considerada neste trabalho, pois em alguns casos, foi observado que embora o projeto inicial, aprovado pelos órgãos competentes tenham altura de 2,40m (aceitável para a cidade de Maceió), durante a execução das Habitações de Interesse social, este valor passa a ser a altura das paredes e ao inserir o acabamento do piso e o forro, ocorre uma redução na altura efetiva do pé direito, com cota distinta da especificada no projeto.

Observa-se na Figura 6 que à medida em que o pé direito aumenta, o desconforto térmico diminui, no entanto, nota-se que para o pé direito de 2,35m, o forro de gesso em quatro, das cinco cidades analisadas apresenta um comportamento que pode elevar significativamente a sensação de desconforto térmico.

Figura 6. Desconforto térmico total para as cidades analisadas em função da variação da altura do pé direito



Fonte: O autor, 2020.

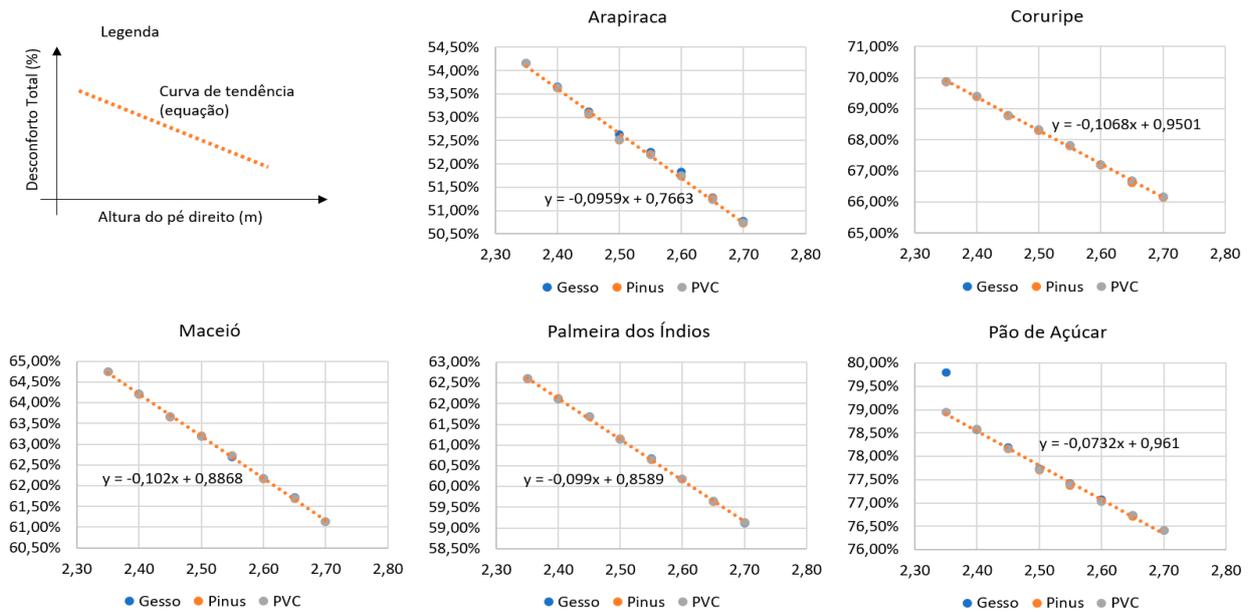
Vale ressaltar também que as cidades de Arapiraca e Palmeira dos Índios, apresentaram os menores valores totais de desconforto térmico, com um pequeno percentual de desconforto por frio (abaixo de 0,5%) durante o ano climático simulado. A cidade de Pão de Açúcar, apresentou o maior índice de desconforto térmico, com valores acima de 70% de desconforto para todos os casos analisados.

Nas cidades de Coruripe, Maceió e Pão de Açúcar, a redução do conforto térmico apenas a partir da alteração do pé direito não possibilitou que esta taxa alcançasse valores aceitáveis como satisfatório a partir do critério avaliado neste trabalho.

Embora tenha ocorrido uma redução entre 2,5% e 4,5% no desconforto, o que efetivamente significa entre 219 e 395 horas durante o ano a mais em situação de conforto térmico, ao se considerar as propriedades termofísicas da edificação nos limites aceitáveis pelas normas brasileiras, pode ter promovido um acúmulo de calor indesejado na edificação ao longo do ano.

A redução dos níveis de desconforto térmico para as cidades analisadas decresce à medida em que o pé direito se eleva e esta variação ocorre de forma similar em quatro, das cinco cidades aqui apresentadas. A Figura 7 apresenta o comportamento desta variação do desconforto térmico, acompanhada da curva de tendência e suas respectivas equações, tornando possível uma melhor discussão sobre este comportamento.

Figura 7. Variação do desconforto térmico total em função da variação da altura do pé direito para as cidades analisadas



Fonte: O autor, 2020.

É possível observar que a redução do desconforto térmico ocorre em uma tendência linear e o coeficiente angular desta reta de tendência, indica que para a cidade de Pão de Açúcar o decaimento é menor que nas demais cidades que apresentaram este valor próximo a (-0,1). Esta informação permite afirmar que em cidades mais quentes, como é o caso da cidade de Pão de açúcar, o uso de telhas cerâmicas, sem ático ventilado e apenas com um forro não proporciona um conforto térmico satisfatório.

Um bom desempenho térmico em edificações, depende não somente das propriedades das cobertas, mas de uma combinação de informações projetuais como isolamento das fachadas, área envidraçada e tipo de elemento translúcido utilizado, dispositivos de sombreamento e isolamento da edificação no contato com o solo.

Embora todos os casos apresentados neste trabalho estejam com propriedades aceitáveis pelo RTQ-R, foi comprovado que seu desempenho quanto ao conforto térmico nem sempre pode ser satisfatório, reforçando a necessidade de uma maior análise no processo de especificação dos materiais para habitações de interesse social e o processo de simulações computacionais pode ser um importante aliado neste processo para fornecer informações ao projetista e comprovar o comportamento futuro da edificação.

5 Considerações Finais

Este artigo avaliou a influência do forro no conforto térmico para habitação de interesse social térrea. Observou-se que, embora todas as cidades consideradas nesta

análise pertençam à mesma zona bioclimática, a mesma estratégia projetual não se comporta de forma satisfatória em todos os casos.

Pensar em um projeto para esta tipologia considerando apenas os valores recomendados e aceitos pelas normas e regulamentos brasileiros, nem sempre pode promover uma satisfação dos usuários quanto ao conforto térmico dentro dos limites considerados como referência nesta pesquisa.

Esta afirmação indica que a recomendação para a zona bioclimática 8, permitindo este tipo de cobertura deve ser melhor analisada em revisões futuras do RTQ-R, solicitando que simulações sejam realizadas para comprovar a eficácia da estratégia projetual adotada.

Como sugestões para trabalhos futuros, pretende-se avaliar os limites de transmitância, capacidade térmica e absorvância das fachadas, além do fator solar das superfícies envidraçadas em que seja possível utilizar este sistema de coberturas para as cidades aqui consideradas e assim poder parametrizar as propriedades e características físicas da edificação.

É de fundamental importância que o processo de simulações computacionais esteja inserido nas fases iniciais do projeto, possibilitando uma escolha mais assertiva dos sistemas construtivos e garantindo um bom desempenho térmico das edificações e consequentemente, melhor sensação de conforto por parte dos usuários.

Referências

- AKIYOSHI, M.; SILVA, M A. P. da; SILVA, M. G. da; PANDOLFELLI, V. C. Condutividade térmica e sua correlação com a temperatura e a massa específica volumétrica de materiais refratários sílicoaluminosos e aluminosos. *CERÂMICA*, v. 47, São Carlos, 2001.
- AL OTAIB, M. The Effect of Ceiling Height on Thermal Comfort for Ceiling-Based Air Distribution Systems Vs Underfloor Air Distribution Systems in an Office Space. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Paris, France, July 26-27, 2018
- ALMEIDA, L. S. S. *Influência de parâmetros físicos e geométricos no desempenho termoenergético de habitações unifamiliares*. 2014. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS , ASHRAE-55 ANSI/ASHRAE *Standard 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*; ASHRAE: Atlanta, GA, USA, 2017
- ARAGAO, D. L. L. J. de; HIROTA, E. H.. Sistematização de requisitos do usuário com o uso da Casa da Qualidade do QFD na etapa de concepção de unidades habitacionais de interesse social no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida. *Ambiente construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 271-291, Dec. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000400118>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15220: desempenho térmico de edificações*. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575: edificações habitacionais: desempenho*. Rio de Janeiro, 2021.
- BARROS, K.; BATISTA, J. O.; BITTENCOURT, L.S. Análise da ventilação natural de uma edificação multifamiliar em Maceió. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 15, João Pessoa, 2019. *Anais...* João Pessoa: ANTAC, 2019.
- BRASIL, Ministério das Cidades. *Portaria nº 660, de 14 de novembro de 2018*. Dispõe sobre as diretrizes para a elaboração de projetos e estabelece as especificações técnicas mínimas da unidade habitacional e as especificações urbanísticas dos empreendimentos destinados à aquisição e alienação com recursos advindos da integralização de cotas no Fundo de Arrendamento Residencial - FAR, e contratação de operações com recursos transferidos ao Fundo de Desenvolvimento Social - FDS, no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV. 14 de novembro de 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/50484132/doi-2018-11-16-portaria-n-660-de-14-de-novembro-de-2018-50483803. Acesso em: 17 jun. 2020.
- BRASIL. *Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009*. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas; altera o Decreto-Lei no 3.365, de 21 de junho de 1941, as Leis nos 4.380, de 21 de agosto de 1964, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 8.036, de 11 de maio de 1990, e 10.257, de 10 de julho

de 2001, e a Medida Provisória no 2.197-43, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF: Subchefia para assuntos jurídicos, 7 jun. 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L11977.htm. Acesso em: 6 mai. 2019.

CALVILLO, C. F.; SANCHES-MIRALLES, A.; VILLAR, J. Energy management and planning in smart cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 55, P 273-287, March 2016. doi <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.133>

CARDOSO, A. L.; ARAGÃO, T. A. Dom fim do BNH ao Programa Minha Casa, Minha Vida: 25 anos da política habitacional no Brasil. In CARDOSO, A. L. (Org.). *O Programa Minha Casa, Minha Vida e seus efeitos territoriais*, Rio de Janeiro, Letra Capital, 17-66. 2013.

CHVATAL, Karin M Soares. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 4, Porto Alegre. 2014. doi <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000400009>

DE DEAR, R.J.; AKIMOTO, T.; ARENS, E.A.; BRAGER, G.; CANDIDO, C.; CHEONG, K.W.D.; LI, B.; NISHIHARA, N.; SEKHAR, S.C.; TANABE, S.; et al. Progress in thermal comfort research over the last twenty years. *Indoor Air*, v. 23, p. 442-461, 2013. doi <https://doi.org/10.1111/ina.12046>

DEVGAN, S. JAIN, A. K. BHATTACHARJEE, B. Predetermined overall thermal transfer value coefficients for Composite, Hot-Dry and Warm-Humid climates. *Energy and Buildings*. Vol.42. 1841-1861. 2010. doi <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.021>

FANGER, P.O.; IPSEN, B.M.; LANGKILDE, G.; OLESSEN, B.W.; CHRISTENSEN, N.K.; TANABE, S. Comfort limits for asymmetric thermal radiation. *Energy Build*, v. 8, p. 225-236, 1985. doi [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(85\)90006-4](https://doi.org/10.1016/0378-7788(85)90006-4)

GALLARDO, A. A. et al. Analysis and optimization of the thermal performance of social housing construction materials in Ecuador. PLEA 2016 - 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. *Anais...* Los Angeles: PLEA 2016.

GOUVEIA, H. L. SPOSTO, R. M. 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*, v. 2, n. 3, 2016. ISSN 2447-7028.

GUIMARÃES, R. P. CARVALHO, M. C. R. SANTOS, F. A. The influence of ceiling height in thermal comfort of Buildings: a case study in Belo Horizonte, Brazil. *Int. Journal for Housing Science*, v. 37, n. 2, p. 75-86, 2013.

HASHIMOTO, Y.; YONEDA, H. Numerical study on the influence of a ceiling height. *XI International IBPSA Conference*. Glasgow, Scotland. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. *Portaria 018/2012*. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; GRANJA, A. D. The concept of desired value as a stimulus for change in social housing in Brazil. *Habitat International*, v. 35, n. 3, p. 435-446, 2011. doi: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2010.12.002>

LAM, J. C.; CHAN, A. L. S. CFD analysis and energy simulation of a gymnasium. *Building and Environment*, v. 36, n. 3. p. 351-358, 2001. doi: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00014-7](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00014-7)

MAZZAFERRO, L. MELO, A.P. LAMBERTS, R. *Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto ground domain no programa energyplus. LabEEE*, Florianópolis, 2015. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Manual_Ground_Domain.pdf Acesso em 13 jul 2020.

MICHELS, C.; GHÜTHS, S.; MARINOLSKI, D. L. Análise da influência da umidade no desempenho térmico de telhas cerâmicas. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 15, João Pessoa, 2019. *Anais...* João Pessoa: ANTAC, 2019.

MORENO, A. C. R.; MORAIS, I. S. DE; SOUZA, R. V. G. DE. Thermal performance of social housing – a study based on brazilian regulations. 8th International Conference on Sustainability. Energy and Buildings. *Anais...*Turin, ITALY: Elsevier B.V., 2017. doi <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.013>

OLESEN, B.W.; PARSONS, K.C. Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. *Energy Build*, v. 34, p. 537–548, 2002. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00004-X](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00004-X)

ORSE, Orçamento de Obras de Sergipe. Departamento Estadual de Habitação e Obras Públicas, *Website*. Aracaju, 2020. Disponível em: <http://orse.cehop.se.gov.br/>. acesso em 25 ago, 2020.

PEDRINI, A.; WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS R, A methodology for building energy modeling and calibration in warm climates, *Building & Environment*, v. 37, p. 903-912, 2002. doi [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00051-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00051-3)

PIRES, J. R. *Investigação da viabilidade da redução do consumo de energia elétrica em edificações residenciais através da aplicação de soluções de conforto ambiental passivo*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAPIRACA, *Lei Nº2220 / 2001*. Institui o Código de Obras e Edificações no município de Arapiraca e dá outras providências. Arapiraca, 31 dez. 2001.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CORURIBE, *Lei N.º 732, de 27 de dezembro de 1997*. institui o Código de Obras do Município de Coruribe/AL, e dá outras providências. Coruribe, 1997.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ, *Lei Nº 5.593, de 08 de fevereiro de 2007*. Institui o Código de Urbanismo e Edificações do município de Maceió. Maceió, 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PALMEIRA DOS ÍNDIOS, *Lei Nº 1547 de 27 de março de 2002*. Código de Obras e Edificações do município de Palmeira dos Índios. Palmeira dos Índios, 2002.

RORIZ, M. *Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros*. Texto para o Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações, São Carlos, 2012. Disponível em: http://roriz.dominiotemporario.com/doc/Sobre_os_arquivos_EPW.pdf. Acesso em: 02 junho 2020.

RUFINO, M. B. C. (Org.). *Minha Casa... E a Cidade?* Avaliação do Programa Minha Casa Minha Vida em seis estados Brasileiros. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015. p. 51-72.

SILVEIRA, W. J. C.; CAMBUHY, Jussara Petini; OLIVEIRA, Roberto de. Habitação de interesse social em Florianópolis (SC): Critérios para definição de coberturas. *Encontros (Santa Cruz do Rio Pardo)*, São Paulo, v. Único, 2004.

SOARES, R. M. D.; ADAMS, B.; ULLMANN, V. Desempenho térmico de habitação social: norma NBR 15575. *Revista de Arquitetura IMED*, v. 5, n. 2, p. 53-64, jul./dez. 2016 - ISSN 2318-1109. doi: 10.18256/2318-1109/arqimed. v5n2p53-64

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do Método de Simulação de Desempenho Térmico da Norma NBR 15575. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 12., Brasília, 2013. *Anais...* Brasília: ANTAC, 2013.

TRIANA MONTES, M. A. *Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas*. 2016. 473f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

TUBELO, R.; RODRIGUES, L.; GILLOTT, M.; SOARES, J. C. G. Cost-effective envelope optimisation for social housing in Brazil's moderate climates zones. *Building and Environment*, United Kingdom, v. 133, p. 213-227, abr. 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.038>

UCLA, University of California, Los Angeles. *Climate Consultant 6.0*. Universidade da Califórnia, Los Angeles, EUA. 2016. Disponível em <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu> acesso em 09 jun, 2020.

ZHAI, Z. J.; CHEN, Q. Y. Performance of coupled building energy and CFD simulations. *Energy and Buildings*, v.37, n. 4, p. 333-344. 2004. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.07.001>