

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Arquitetura

Mariana Navarro Benevides

**Análise de conforto e desempenho térmico de habitações unifamiliares no
semiárido mineiro**

Belo Horizonte
2020

Mariana Navarro Benevides

**Análise de conforto e desempenho térmico de habitações unifamiliares no
semiárido mineiro**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos.

Orientadora: Profa. Dra. Rejane Magiag
Loura

Belo Horizonte

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

B461a

Benevides, Mariana Navarro.

Análise de conforto e desempenho térmico de habitações unifamiliares no semiárido mineiro [manuscrito] / Mariana Navarro Benevides. - 2020.

39f. : il.

Orientador: Rejane Magiag Loura.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Edifícios - Propriedades térmicas. 2. Arquitetura e clima. 3. Habitações. 4. Software. 5. Clima de regiões áridas - Minas Gerais. I. Loura, Rejane Magiag. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG
Rua Paraíba, 697 – Funcionários
30130-140 – Belo Horizonte – MG - Brasil

Telefone: (031) 3409-8823

FAX (031) 3409-8822

ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA *MARIANA NAVARRO BENEVIDES* COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE EM CIDADES, EDIFICAÇÕES E PRODUTOS.

Às 9:30 horas do dia 12 de Junho de 2020, reuniu-se pela plataforma Microsoft Teams, a Comissão Examinadora composta pela Professora **Rejane Magiag Loura** Orientadora-Presidente e pela Professora **Camila Carvalho Ferreira**, designada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos, para avaliação da monografia intitulada "*Análise de conforto e desempenho térmico de habitações unifamiliares no semiárido mineiro*" de autoria da aluna **Mariana Navarro Benevides**, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso e recomenda encaminhar 01 (um) exemplar impresso para a Biblioteca da Escola de Arquitetura, o depósito de 01(um) exemplar digital para a Repositório da UFMG e a publicação do trabalho em periódico, após realização da revisão indicada pela banca.

Nota e conceito: nota 90 e conceito A

Belo Horizonte, 12 de junho de 2020


Prof. Rejane Magiag Loura
Professora **Rejane Magiag Loura**
Orientadora-Presidente


Professora **Camila Carvalho Ferreira**
Membro Titular

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me sustentado, fortalecido e cuidado de mim.

Aos meus pais, Heraldo e Nadja, pelo apoio, amor, por acreditarem e investirem em mim todos esses anos.

Ao meu amor, David, pela ajuda, amor, dedicação e pela paciência comigo sempre.

Aos meus amigos do curso, pelos momentos de descontração, risadas, por sempre terem aliviado meu cansaço nas minhas viagens à Belo Horizonte.

À minha orientadora, Rejane Magiag, pelo apoio, confiança e pelo auxílio para a realização deste trabalho.

RESUMO

A transmitância do envelope consiste em um aspecto crítico da performance térmica de edificações, sobretudo em regiões com características climáticas extremas. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar o conforto e o desempenho térmico de habitações unifamiliares no semiárido mineiro frente ao uso de materiais construtivos com diferentes níveis de transmitâncias térmicas. Foram realizadas simulações computacionais a partir do software *Energyplus* utilizando arquivos climáticos do tipo TMYx, para os municípios de Araçuaí, Januária, Monte Azul, Pedra Azul e Pirapora, em Minas Gerais. Variou-se a combinação de materiais construtivos da parede e cobertura com alta, média e baixa transmitância térmica global. Os resultados mostraram que, do ponto de vista do conforto e desempenho térmico, o uso de materiais com média e baixa transmitância foi equivalente, acarretando em maiores percentuais anuais de horas de conforto e uma menor necessidade de graus-hora de resfriamento, em todos os municípios analisados. Apesar disso, observou-se um melhor desempenho da edificação simulada com materiais de transmitância média nos meses de inverno. Por fim, constatou-se que, apesar de os municípios de Araçuaí, Januária, Monte Azul e Pirapora estarem em zonas bioclimáticas distintas, os mesmos apresentaram respostas similares em relação aos indicadores térmicos avaliados, e que as cidades de Araçuaí e Pedra Azul, mesmo estando na mesma zona bioclimática, apresentaram respostas opostas, o que sugere a necessidade de um aperfeiçoamento nos critérios para a definição das zonas bioclimáticas no semiárido mineiro.

Palavras-chave: Transmitância térmica global. Energyplus. Região semiárida. Arquivo climático TMYx.

ABSTRACT

The transmittance of the envelope is a critical aspect of the thermal performance of buildings, especially in regions with extreme climatic characteristics. In this context, this work aimed to analyze the comfort and thermal performance of single-family homes in the semi-arid region of Minas Gerais state, considering the use of construction materials with different levels of thermal transmittances. Computer simulations were performed using the *Energypius* software using TMYx-type climatic files, for the municipalities of Araçuaí, Januária, Monte Azul, Pedra Azul, and Pirapora, in Minas Gerais. The combination of wall and roof construction materials with high, medium, and low global thermal transmittance was varied. The results showed that, from the point of view of the comfort and thermal performance, the use of materials with medium and low transmittance was equivalent, resulting in higher annual percentages of comfort hours and a lower need for degrees-hour of cooling, in all municipalities analyzed. Despite this, better performance of the simulated building with medium transmittance materials was observed in the winter months. Finally, it was found that, although the municipalities of Araçuaí, Januária, Monte Azul and Pirapora are in different bioclimatic zones, they presented similar responses concerning the evaluated thermal indicators, and that the cities of Araçuaí and Pedra Azul, even being in the same bioclimatic zone, they presented opposite responses, which suggests the need for an improvement in the criteria for the definition of bioclimatic zones in the semi-arid region of Minas Gerais.

Key-words: Global thermal transmittance. Energypius. Semi-arid region. TMYx climate file.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Área de estudo.....	12
Figura 2. Umidades relativas e temperaturas médias mensais das cidades em estudo.....	13
Figura 3. Geometria de edificação unifamiliar representativa.....	16
Figura 4. Composição de materiais com alta transmitância para parede (a) e cobertura (b), e seus respectivos valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C_T)	18
Figura 5. Composição de materiais com média transmitância para parede (a) e cobertura (b), e seus respectivos valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C_T)	18
Figura 6. Composição de materiais com baixa transmitância para parede (a) e cobertura (b), e seus respectivos valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C_T)	19
Figura 7. Esquema de visualização de metodologia utilizada	24
Figura 8. Temperaturas mensais internas e externas para as cidades analisadas ...	25
Figura 9. Umidades relativas mensais internas e externas para as cidades analisadas	27
Figura 10. Conforto adaptativo anual, em cada nível de transmitância, para os municípios analisados	28
Figura 11. Conforto adaptativo para o município de Araçuaí, por estação do ano	29
Figura 12. Conforto adaptativo para o município de Januária, por estação do ano. .	29
Figura 13. Conforto adaptativo para o município de Monte Azul, por estação do ano.	30
Figura 14. Conforto adaptativo para o município de Pirapora, por estação do ano...	30
Figura 15. Conforto adaptativo para o município de Pedra Azul, por estação do ano.	31
Figura 16. Graus hora de resfriamento para todas as combinações para todos os meses.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados climáticos médios anuais dos municípios em estudo	13
Tabela 2. Valores das propriedades térmicas estabelecidos à cada zona bioclimática em estudo.....	17
Tabela 3. Propriedades térmicas dos materiais utilizados que variaram entre as simulações	20
Tabela 4. Propriedades térmicas dos materiais utilizados que foram constantes em todas as simulações.....	21
Tabela 5. Percentuais de conforto adaptativo anual para cada município em estudo	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 MATERIAS E MÉTODOS	12
2.1 Área de estudo	12
2.2 Parâmetros da simulação	14
2.2.1 Arquivos climáticos	15
2.2.2 Geometria habitacional representativa	15
2.2.3 Cargas internas da edificação.....	16
2.2.4 Materiais construtivos	16
2.3 Indicadores de desempenho	22
2.3.1 Avaliação do conforto térmico adaptativo	22
2.3.2 Avaliação de desempenho térmico.....	22
2.4 Resumo dos parâmetros simulados	23
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

Uma condição primordial para a construção de edificações residenciais adequadas, consiste na escolha de materiais construtivos que priorizem o equilíbrio entre os aspectos termo físicos e as condições climáticas locais (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007). Todavia, ao longo dos últimos anos, obras construtivas vêm sendo reproduzidas sem o devido planejamento prévio desses fatores, o que resulta em impactos negativos na vivência dos usuários (ARAÚJO; BARBOSA; BATISTA, 2017). Como consequência, um aumento na utilização de condicionadores térmicos em habitações pode ser observado (ABRAHÃO, 2015), na tentativa central de uma melhoria nas condições de conforto térmico.

Com o intuito de avaliar as condições de edificações já existentes ou de subsidiar o planejamento de novas, a utilização de *softwares* que permitem simular condições termo energéticas tem se mostrado bastante eficaz. Esse fato pode ser evidenciado pelo aumento do número de trabalhos que utilizam dessa ferramenta, como exemplificam Tian et al. (2018) e Gao et al. (2019). Diante disso, a utilização de uma metodologia de análise de performance por simulação permite a identificação de períodos com maior probabilidade de gastos energéticos e, ainda, a avaliação das condições térmicas internas dos ambientes da edificação em estudo (BIANCO et al., 2016; WEIß et al., 2019; GUNAWARDENA; STEEMERS, 2019).

A caracterização dos aspectos termo físicos dos materiais construtivos é de suma importância para a compreensão da influência dos mesmos no comportamento das edificações. Dentre os fatores relacionados à condição global, na qual se leva em consideração a combinação de todos os critérios termo físicos que compõem as estruturas da edificação, a transmitância, a capacidade e a absorvância térmicas globais apresentam grande influência no conforto térmico de habitações quando modificados seus valores.

A análise da transmitância térmica global, definida como a capacidade que os componentes construtivos possuem de permitir maior ou menor fluxo de calor entre o meio externo e o interno (LAMBERTS et al., 2014), apresenta grande relevância sobretudo em regiões com características climáticas extremas, como as observadas em regiões semiáridas (TOKUÇ et al., 2017; SGHIOURI et al., 2018; AHANGARI; MAEREFAT, 2019; RINCÓN et al., 2019). No Brasil, a região semiárida é caracterizada por elevados índices de déficit hídrico, baixos índices de precipitação

pluviométrica e, ainda, por elevados níveis de aridez (SUDENE, 2017), o que evidencia uma maior necessidade de pesquisas sobre os impactos dessas condições climáticas nas edificações (MARTINS et al., 2012).

Inserido nesse contexto, o semiárido mineiro é composto por 135 municípios e apresenta grande diversidade de zonas bioclimáticas. De acordo com a NBR 15220:Desempenho Térmico de Edificações Residenciais (ABNT, 2005), essa região é composta por cinco zonas bioclimáticas, apresentando, portanto, recomendações e estratégias construtivas distintas. Apesar das especificidades climáticas observadas nessa região, bem como o número de zonas bioclimáticas nela inserida, uma lacuna em relação a resposta termo energética do uso de diferentes materiais quando submetidos a esse clima ainda existe.

A realização de simulações termo energéticas de habitações apresentam alguns aspectos passíveis de análise quanto ao desempenho térmico, como é o caso dos indicadores térmicos de conforto térmico adaptativo, proposto na ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013), e a demanda por horas de aquecimento ou resfriamento, método conhecido como graus hora. Esses indicadores são comumente utilizados para avaliação de conforto do usuário e gastos energéticos, como apresentam os trabalhos de Martins et al. (2012), Araújo et al. (2017), Oliveira et al. (2017), Wang et al. (2019), Mahar et al. (2020), Soflaei et al. (2020) e Vivian et al. (2020).

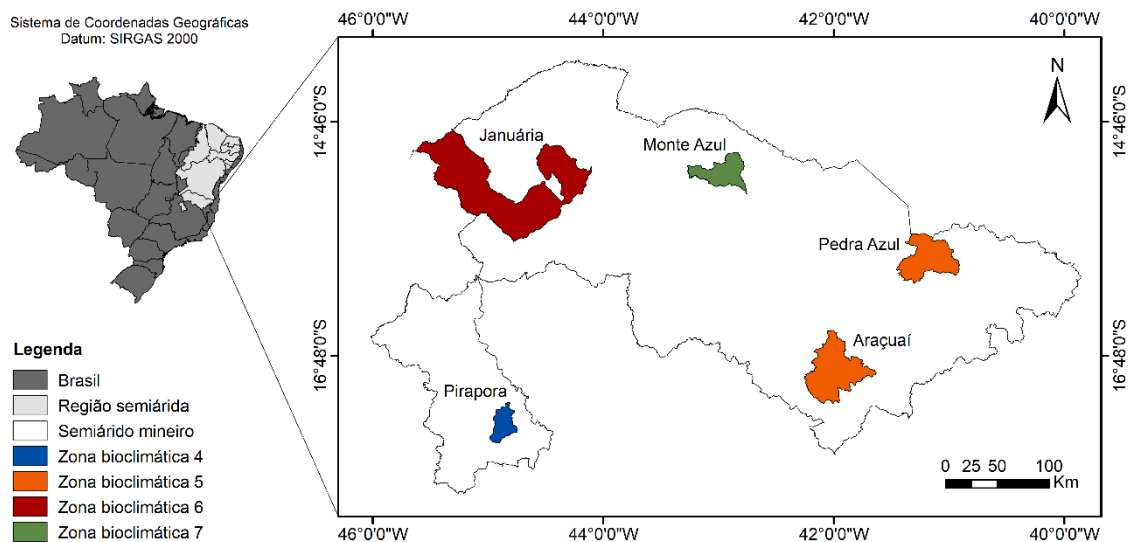
Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo analisar o conforto e o desempenho térmico de habitações unifamiliares no semiárido mineiro frente ao uso de materiais construtivos com diferentes níveis de transmitância térmica.

2 MATERIAS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreendeu cinco municípios que se localizam ao norte do estado de Minas Gerais e pertencentes à região semiárida (SUDENE,2017), sendo estes Araçuaí, Januária, Monte Azul, Pedra Azul e Pirapora, como apresentado na figura 1.

Figura 1. Área de estudo



Fonte: Elaborada pela autora.

A NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações Residenciais (ABNT, 2005), apresenta a proposta de Zoneamento Bioclimático Brasileiro, no qual cidades com comportamentos climáticos semelhantes são agrupadas. Para cada um desses grupos, são atribuídas estratégias e diretrizes construtivas específicas, criando, dessa forma, oito zonas bioclimáticas distintas para o país. A partir dessa definição, os municípios de Araçuaí, Januária, Monte Azul, Pedra Azul e Pirapora, estão inseridas nas zonas bioclimáticas 5, 6, 7, 5 e 4, respectivamente.

Apesar dessas cidades estarem inseridas no mesmo estado, as mesmas apresentam definições de estratégias e diretrizes construtivas distintas, sobretudo em decorrência de suas especificidades climáticas. Esse fato pode ser evidenciado ao se analisar as magnitudes anuais e mensais das temperaturas e da umidade relativa

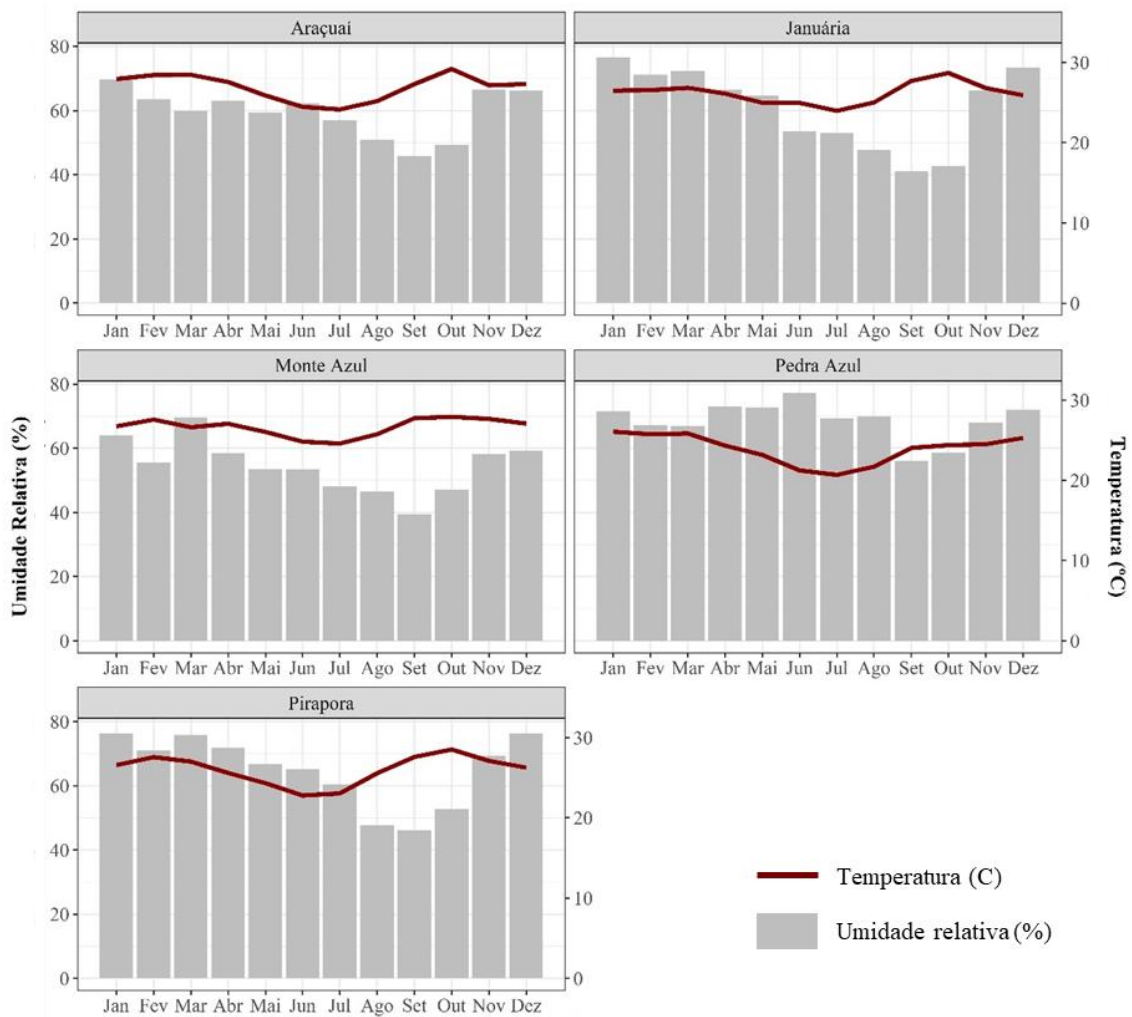
observados nos municípios em estudo, apresentadas, respectivamente, na tabela 1 e na figura 2.

Tabela 1. Dados climáticos médios anuais dos municípios em estudo

Municípios	Zona Bioclimática	Temp. Média (°C)	Temp. Mínima (°C)	Temp. Máxima (°C)	Amp. Térmica (°C)	Umidade Relativa (%)
Araçuaí	5	26.9	14.3	41.0	26.7	59.4
Januária	6	26.2	15.2	39.0	23.8	60.7
Monte Azul	7	26.6	17.9	37.2	19.3	54.4
Pedra Azul	5	23.9	15.5	34.6	19.1	68.5
Pirapora	4	26.0	9.4	38.7	29.3	64.9

Fonte: Arquivos climáticos LABEE–UFSC.

Figura 2. Umidades relativas e temperaturas médias mensais das cidades em estudo



Fonte: Elaborada pela autora.

Embora não sejam constatadas diferenças expressivas em relação às temperaturas médias anuais dos municípios, para os demais parâmetros climáticos analisados um maior contraste pode ser observado (TABELA 1). Como exemplo, destaca-se a diferença de 8,5°C na temperatura mínima média anual entre os municípios de Monte Azul e Pirapora, e de 10,2°C na amplitude térmica anual entre Pedra Azul e Pirapora.

A partir da figura 2, pode-se perceber que as maiores temperaturas mensais nessas cidades são observadas, em sua maioria, no mês de outubro. Já os valores mais baixos, estão concentrados nos meses junho, julho e agosto, meses de inverno. Dentre as cidades em estudo, as temperaturas mensais mais altas estão presentes em Araçuaí, e as mais baixas, em Pedra Azul.

Em relação à umidade relativa, os valores mais baixos são observados nos meses de agosto, setembro e outubro, época de mudança de estação do inverno para primavera. Ademais, os valores mais altos encontram-se nos meses de dezembro e janeiro, onde predomina o verão. Para o município de Pedra Azul, no entanto, observa-se um comportamento distinto em relação aos demais municípios, visto que a maior umidade relativa é observada no mês de junho. De maneira geral, os valores de umidade mais altos estão presentes em Pedra Azul, enquanto os mais baixos são observados no município de Monte Azul.

Deste modo, Pedra Azul é caracterizado como o município que apresenta os menores valores de temperatura mensal e os maiores valores de umidade relativa dentre os municípios do semiárido mineiro estudados.

2.2 Parâmetros da simulação

No intuito de analisar o comportamento de diferentes combinações de composições de materiais construtivos na envoltória de um modelo habitacional de referência, frente às condições climáticas dos municípios de Araçuaí, Januária, Monte Azul, Pedra Azul e Pirapora, foram realizadas simulações a partir do *software Energyplus* (DOE, 2019).

Para as simulações, foram fixados os valores das aberturas para ventilação em 15% da área do piso, além do sombreamento por meio de venezianas para todos os ambientes. Os demais parâmetros definidos para o presente estudo estão detalhados a seguir.

2.2.1 Arquivos climáticos

A escolha pelos municípios estudados está relacionada à disponibilidade dos seus arquivos climáticos pelo Laboratório de Eficiência Energética de Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, LabEEE-UFSC (<http://www.labeee.ufsc.br>), visto que esses são os únicos municípios pertencentes ao semiárido mineiro com arquivo do tipo “TMYx 2003-2017”. Esse tipo de arquivo é encontrado na pasta de “Arquivos climáticos INMET 2018” e seus dados apresentam correções nos cálculos de nebulosidade.

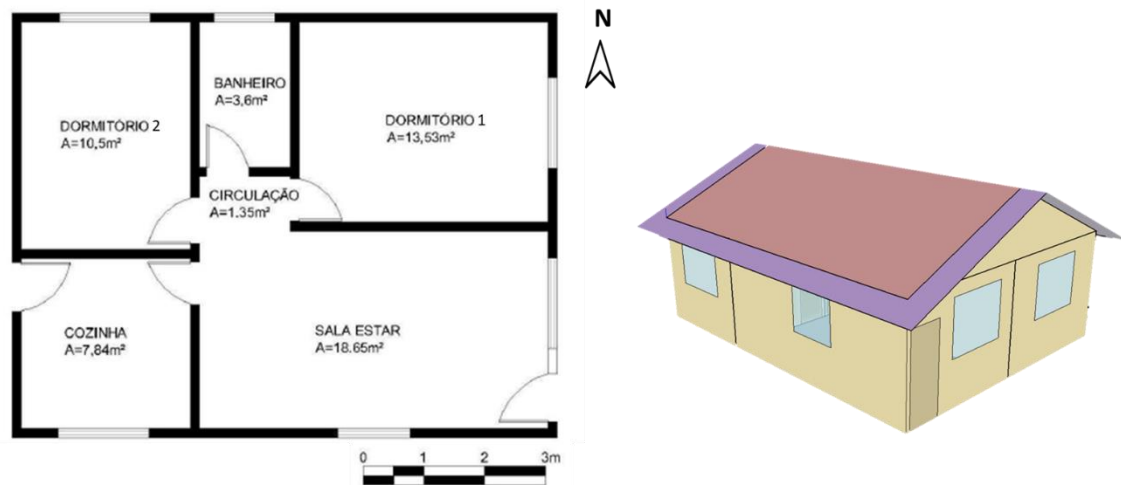
De acordo com Amorim (2015), os arquivos da categoria “ano meteorológico típico”, do inglês *typical meteorological year* (TMY), são compostos por dados mensais pertencentes a diferentes anos e sem considerar extremos de temperatura. No caso do arquivo escolhido, o “TMYx”, foi desenvolvido por Crawley e Lawrie (2015) a partir de dados climáticos horários com horizonte temporal de 14 anos de dados, considerado, portanto, as condições climáticas mais atuais dentre os arquivos climáticos disponíveis para simulação.

2.2.2 Geometria habitacional representativa

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua, intitulada “Características gerais dos domicílios e dos moradores 2018” (IBGE, 2019), tanto no cenário brasileiro atual, quanto na região semiárida, o modelo de tipologia habitacional unifamiliar apresenta predominância.

Com definição da tipologia representativa da região, selecionou-se o modelo habitacional representativo de tipologia unifamiliar desenvolvida por Telles (2016), o qual teve sua configuração geométrica baseada no trabalho de Sorgato (2009). Esta geometria apresenta área útil de 55,5 m² e dois dormitórios (FIGURA 3).

Figura 3. Geometria de edificação unifamiliar representativa



Fonte: Adaptado pela autora com base em Rodrigues, 2019.

O modelo habitacional foi simulado para as quatro orientações cardeais principais (0° , 90° , 180° e 270°), sendo a média das mesmas a utilizada para a análise da edificação. No intuito de analisar o comportamento da moradia por completo, todos os ambientes foram considerados para análise, incluindo àquele de não permanência prolongada, ou seja, o banheiro.

2.2.3 Cargas internas da edificação

A geometria habitacional representativa teve seus valores de carga interna determinadas por Rodrigues (2019) para o estilo de vida “contemporâneo”, baseado em uma das definições de Sorgato (2015) quanto ao uso de edificações residenciais por famílias brasileiras. Esse cenário de uso é caracterizado pela não utilização da moradia no período diurno, período entre oito e 18 horas, com a permanência dos usuários na edificação apenas no período noturno (RODRIGUES, 2019).

Dessa forma, o modelo foi simulado considerando uma ocupação de três moradores, sendo os ambientes da cozinha e do banheiro aqueles com maior demanda de energia, e com um total de carga interna de iluminação artificial e equipamentos elétricos de 819,23 kWh ao ano.

2.2.4 Materiais construtivos

Tendo em vista a alocação dos municípios nas zonas bioclimáticas e as recomendações de tipo de vedações externa e aberturas de ventilações presentes no

Anexo C, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social da NBR 15220 (ABNT, 2005), buscou-se selecionar sugestões de materiais com maior aplicabilidade prática. Para isso, foram definidas composições construtivas com valores de transmitância térmica, atraso térmico, fator solar e a porcentagem da área do piso que fossem comuns a todos as zonas bioclimáticas em análise, como apresentado na tabela 2.

Tabela 2. Valores das propriedades térmicas estabelecidos à cada zona bioclimática em estudo

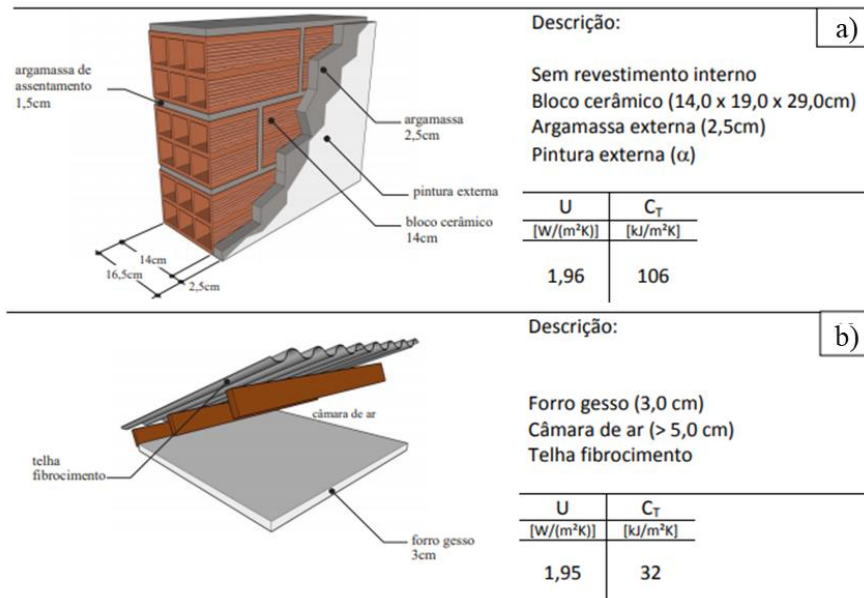
Zona Bioclimática	Vedação externa		Transmitância térmica – U (W/m ² K)	Atraso térmico – φ (Horas)	Fator solar – Fso (%)
4	Parede	Pesada	≤ 2.20	≥ 6.5	≤ 3.5
	Cobertura	Leve Isolada	≤ 2.00	≤ 3.3	≤ 6.5
5	Parede	Leve Refletora	≤ 3.6	≤ 4.3	≤ 4.0
	Cobertura	Leve Refletora	$\leq 2.30 \times FT$	≤ 3.3	≤ 6.5
6	Parede	Pesada	≤ 2.20	≥ 6.5	≤ 3.5
	Cobertura	Leve Isolada	≤ 2.00	≤ 3.3	≤ 6.5
7	Parede	Pesada	≤ 2.20	≥ 6.5	≤ 3.5
	Cobertura	Pesada	≤ 2.00	≥ 6.6	≤ 6.5

FT = Fator de correção de transmitância aceitável para coberturas

Fonte: ABNT, 2005.

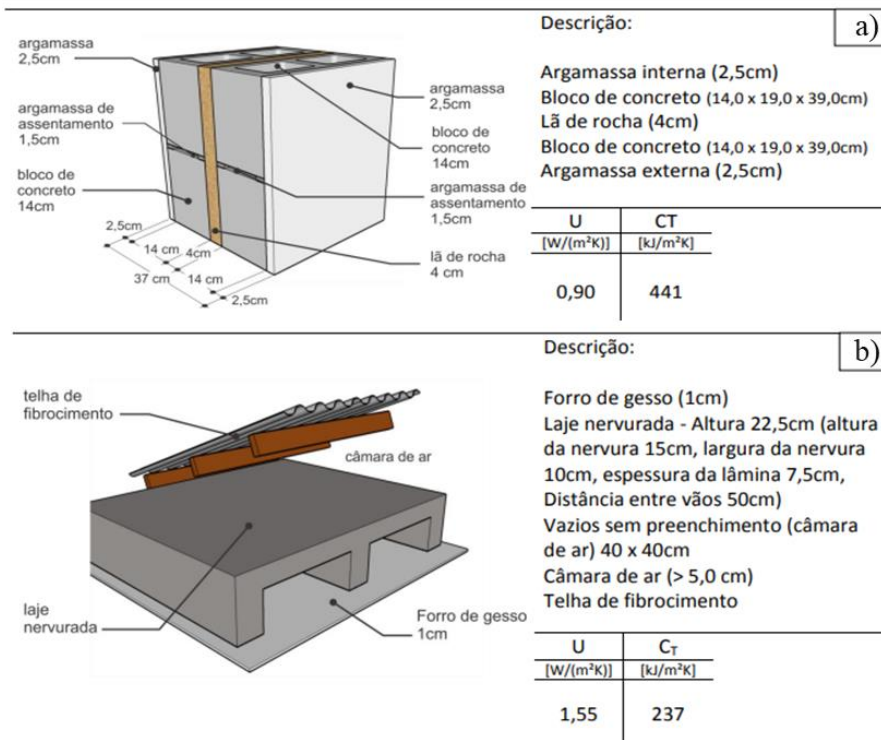
A partir dos materiais comuns identificados, foram selecionadas composições de paredes e coberturas presentes no Anexo Geral V, da Portaria INMETRO nº 50 (INMETRO, 2013), com valores altos, médios e baixos de transmitância térmica global. As composições de parede e coberturas definidas para cada nível de transmitância estão apresentadas nas figuras 4, 5 e 6.

Figura 4. Composição de materiais com alta transmitância para parede (a) e cobertura (b), e seus respectivos valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C_T)



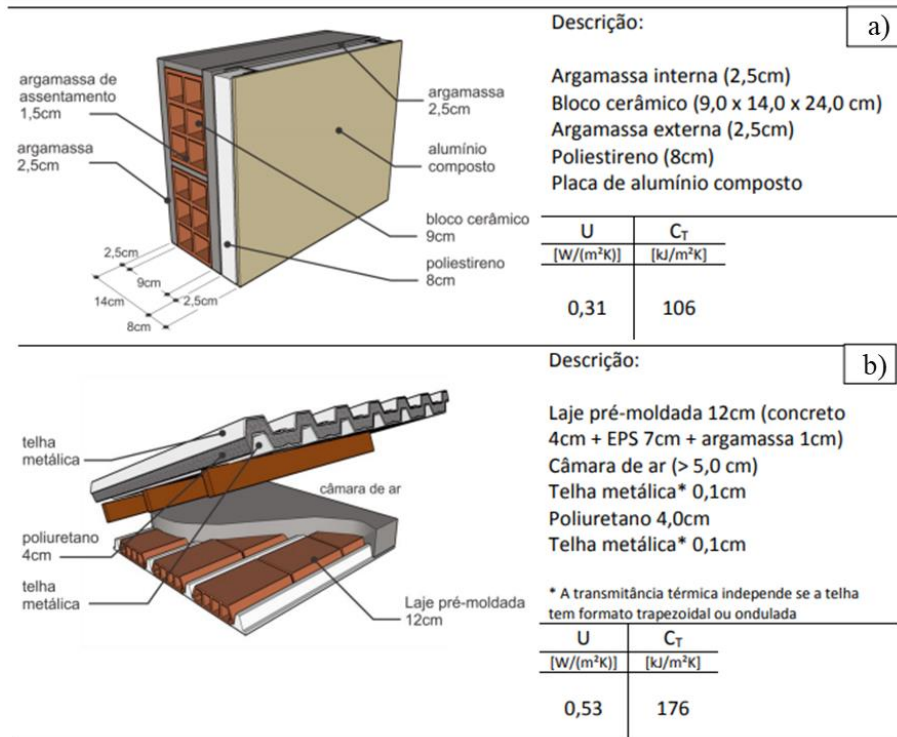
Fonte: INMETRO, 2013.

Figura 5. Composição de materiais com média transmitância para parede (a) e cobertura (b), e seus respectivos valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C_T)



Fonte: INMETRO, 2013.

Figura 6. Composição de materiais com baixa transmitância para parede (a) e cobertura (b), e seus respectivos valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C_T)



Fonte: INMETRO, 2013.

As características térmicas das composições de materiais utilizadas para a simulação dos materiais com diferentes níveis de transmitância são detalhadas por Weber et al. (2017) e estão apresentadas nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Propriedades térmicas dos materiais utilizados que variaram entre as simulações

Transmitância Térmica Global	Componente Construtivo	Revestimento	Material	Espessura Equivalente (m)	Condutividade Térmica (W/mK)	Densidade (Kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Resistencia Térmica (m ² / KW)	Absortância Solar	
Baixa	Parede		Argamassa interna	0.025	1.15	2000	1000	0.022	0.9	
			Cerâmica, argamassa	Cerâmica	0.0134	0.9	1600	920	0.015	0.7
			interna e	Câmara de ar	0.0632	0.482	-	-	0.131	-
			externa, EPS,	Cerâmica	0.0134	0.9	1600	920	0.015	0.7
			alumínio	Argamassa	0.025	1.15	2000	1000	0.022	0.9
			composto	EPS	0.08	0.04	35	1400	2000	0.4
				Alumínio Composto	0.031	0.0413	2700	0.0462	0.751	-
	Cobertura	Telha metálica pré-moldada, tabela cerâmica e revestimento interno de argamassa	Aço + PE	0.042	0.042	154	1420	1	0.05	
			Câmara de ar	0.25	1.19	-	-	0.21	-	
			Concreto	0.04	1.75	2200	1000	0.023	0.611	
			Cerâmica	0.012	1.05	2000	920	0.011	0.7	
			Câmara de ar	0.046	0.565	-	-	0.081	-	
			Cerâmica	0.012	1.05	2000	920	0.011	0.7	
			Argamassa	0.01	1.15	2000	1000	0.009	0.7	
Média	Parede	Concreto, argamassa interna e externa com Lã de rocha	Argamassa Interna	0.025	1.15	2000	1000	0.022	0.9	
			Concreto	0.03	1.75	2400	1000	0.017	0.7	
			Câmara de ar	0.08	0.074	-	-	1.081	-	
			Concreto	0.03	1.75	2400	1000	0.017	0.7	
			Lã de rocha	0.04	0.045	100	800	0.888	-	
			Concreto	0.03	1.75	2400	1000	0.017	0.7	
			Câmara de ar	0.08	0.074	-	-	1.081	-	
			Concreto	0.03	1.75	2400	1000	0.017	0.7	
			Argamassa externa	0.025	1.15	2000	1000	0.022	0.9	

Continua...

Transmitância Térmica Global	Componente Construtivo	Revestimento	Material	Espessura Equivalente (m)	Condutividade Térmica (W/mK)	Densidade (Kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Resistencia Térmica (m ² / KW)	Absortância Solar	
Média	Cobertura	Cimento	Fibrocimento	0.008	0.95	1900	840	0.0084	0.611	
		nervurado com	Câmara de ar	0.25	1.19	-	-	0.21	-	
		câmara de ar e	Concreto	0.0985	1.75	2200	1000	0.0563	0.7	
		revestimento	Câmara de ar	0.1265	1.19	-	-	0.1063	-	
		interno de gesso	Gesso	0.01	0.35	900	870	0.0286	0.2	
Alta	Parede	Cerâmica, sem	Cerâmica	0.0165	0.9	1600	920	0.018	0.7	
		revestimento	Câmara de ar	0.107	0.4	-	-	0.268	-	
		interno,	Cerâmica	0.0165	0.9	1600	920	0.018	0.7	
		argamassa	Argamassa	0.025	1.15	2000	1000	0.022	0.9	
	Cobertura	Cimento, forro gesso	Fibrocimento	Fibrocimento	0.008	0.95	1900	840	0.0084	0.7
			Câmara de ar	Câmara de ar	0.25	1.19	-	-	0.21	-
			Gesso	Gesso	0.03	0.35	900	870	0.086	0.7

Fonte: Adaptado pela autora com base em Weber et al., 2017.

Tabela 4. Propriedades térmicas dos materiais utilizados que foram constantes em todas as simulações

Componente Construtivo	Material	Espessura Equivalente (m)	Condutividade Térmica (W/mK)	Densidade (Kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)	Resistencia Térmica (m ² / KW)	Absortância Solar
Piso	Laje	0.08	1.75	2300	1000	-	0.8
	Piso Cerâmico	0.02	1.05	2000	920	-	0.7
Teto	Piso Cerâmico	0.02	1.05	2000	920	-	0.7
	Laje	0.08	1.75	2300	1000	-	0.8
Janela	Vidro	0.003	-	-	-	-	0.837
	Veneziana	-	0.23	-	-	-	-
Porta	Painel de madeira	0.01	0.12	500	230	-	0.7
	Câmara de ar	-	-	-	-	0.16	-

Fonte: Adaptado pela autora com base em Weber et al., 2017.

2.3 Indicadores de desempenho

No intuito de avaliar a edificação com relação ao desempenho e ao conforto térmico adaptativo, foram utilizados os dados de temperatura operativa de todos os ambientes, propiciando a avaliação do comportamento térmico da habitação como um todo.

2.3.1 Avaliação do conforto térmico adaptativo

Para a avaliação da edificação habitacional quanto ao conforto térmico adaptativo, utilizaram-se dos conceitos e dos procedimentos apresentados pela ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013). A partir dessa metodologia, foram utilizados os dados de temperatura operativa, de entrada e saída do fluxo de ar, e a temperatura de bulbo seco externo, resultantes da simulação pelo *Energyplus*. No conforto térmico adaptativo são utilizados valores referentes aos últimos 15 dias, em escala horária, a fim de identificar os percentuais de conforto ou desconforto aos usuários. Em relação ao desconforto, o mesmo pôde ser caracterizado como desconforto por frio ou por calor.

Para a obtenção das temperaturas máxima e mínima limites adequadas do ponto de vista do conforto adaptativo, foram utilizadas as Equações 1 e 2 (ASHRAE, 2013).

$$\text{Limite de aceitabilidade máximo} = 21,3 + T_{\text{ext}} \times 0,31 \quad (1)$$

$$\text{Limite de aceitabilidade mínimo} = 14,3 + T_{\text{ext}} \times 0,31 \quad (2)$$

Em que:

T_{ext} = Temperatura externa média (°C).

2.3.2 Avaliação de desempenho térmico

Para a avaliação quanto ao desempenho térmico, utilizaram-se os indicadores de graus-hora de resfriamento e aquecimento. A obtenção desses índices se dá a partir da utilização dos valores de temperatura operativa provenientes da

simulação do modelo habitacional de referência e do valor de temperatura base para cada uma das condições de necessidade, como apresentado nas Equações 3 e 4. Para que fossem identificadas as necessidades de resfriamento e de aquecimento, as temperaturas base utilizadas foram, respectivamente, 26°C e 18 °C. O primeiro valor foi estabelecido conforme o RTQ-R (INMETRO, 2012), enquanto o segundo é um valor definido com base na norma Standard 55(ASHRAE, 2010) e em Givoni (1992).

$$GH_{RES} = \sum T_o - T_{b1} \quad (3)$$

$$GH_{AQU} = \sum T_{b2} - T_o \quad (4)$$

Em que:

GH_{RES} = Graus-hora de resfriamento (°C);

GH_{AQU} = Graus-hora de aquecimento (°C);

T_o = Temperatura operativa horária do ambiente (°C);

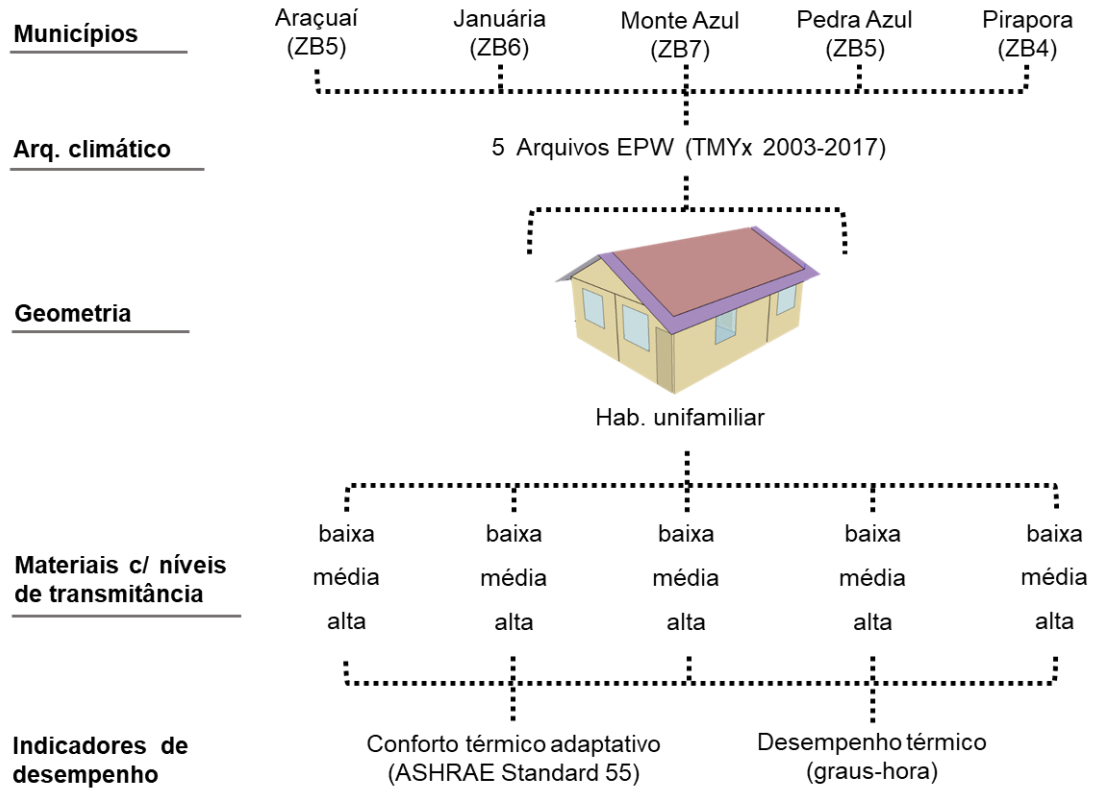
T_{b1} = Temperatura de base para resfriamento (°C);

T_{b2} = Temperatura de base para aquecimento (°C).

2.4 Resumo dos parâmetros simulados

Resumidamente, o processo de simulação se deu a partir da utilização de um modelo habitacional de referência unifamiliar, para o qual foram utilizados materiais de cobertura e parede com valores de transmitância térmica global baixa, média e alta, para cada uma das cinco cidades em estudo pertencentes ao semiárido mineiro. No intuito de facilitar a compreensão, uma esquematização dos parâmetros simulados está apresentada na figura 7.

Figura 7. Esquema de visualização de metodologia utilizada

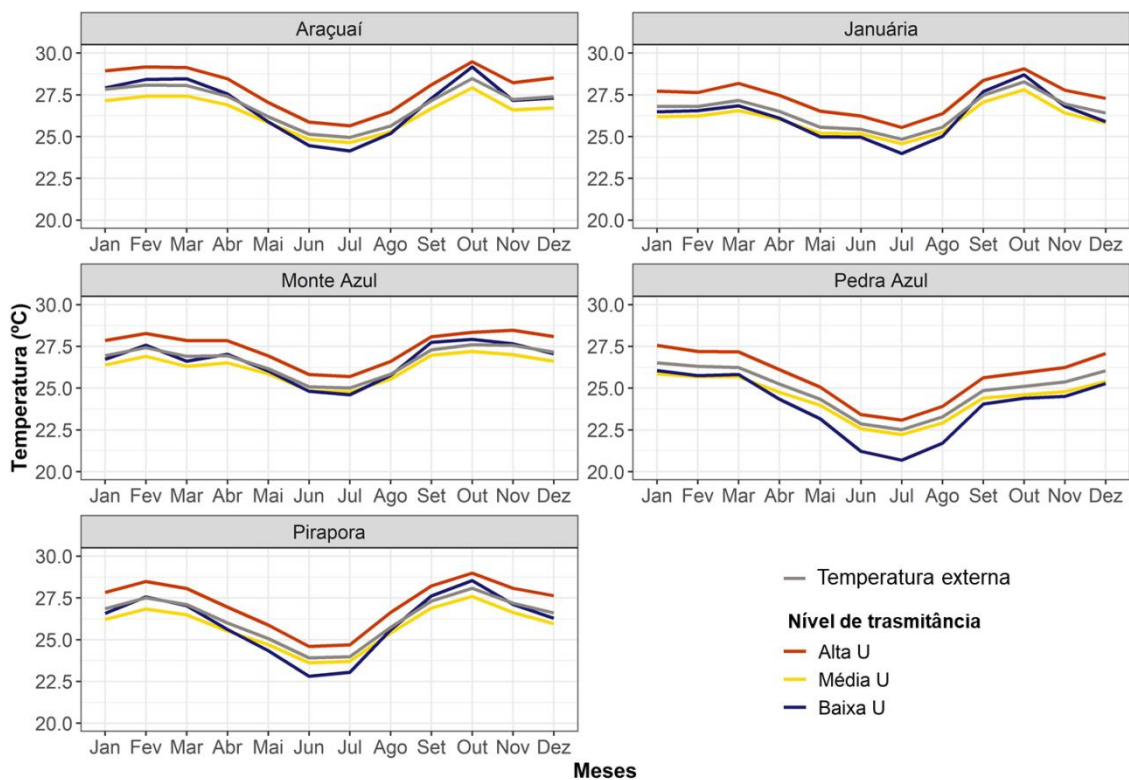


Fonte: Elaborada pela autora.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 8 estão apresentadas as temperaturas externas provenientes do arquivo climático e as temperaturas operativas internas da edificação resultantes da simulação. Considerando a influência da magnitude das variáveis climáticas externas no comportamento térmico interno, pode-se perceber que o uso de materiais com baixa e média transmitância térmica acarretou em temperaturas internas menores que as extremas na maior parte dos meses, em todas as cidades analisadas.

Figura 8. Temperaturas mensais internas e externas para as cidades analisadas



Fonte: Elaborada pela autora.

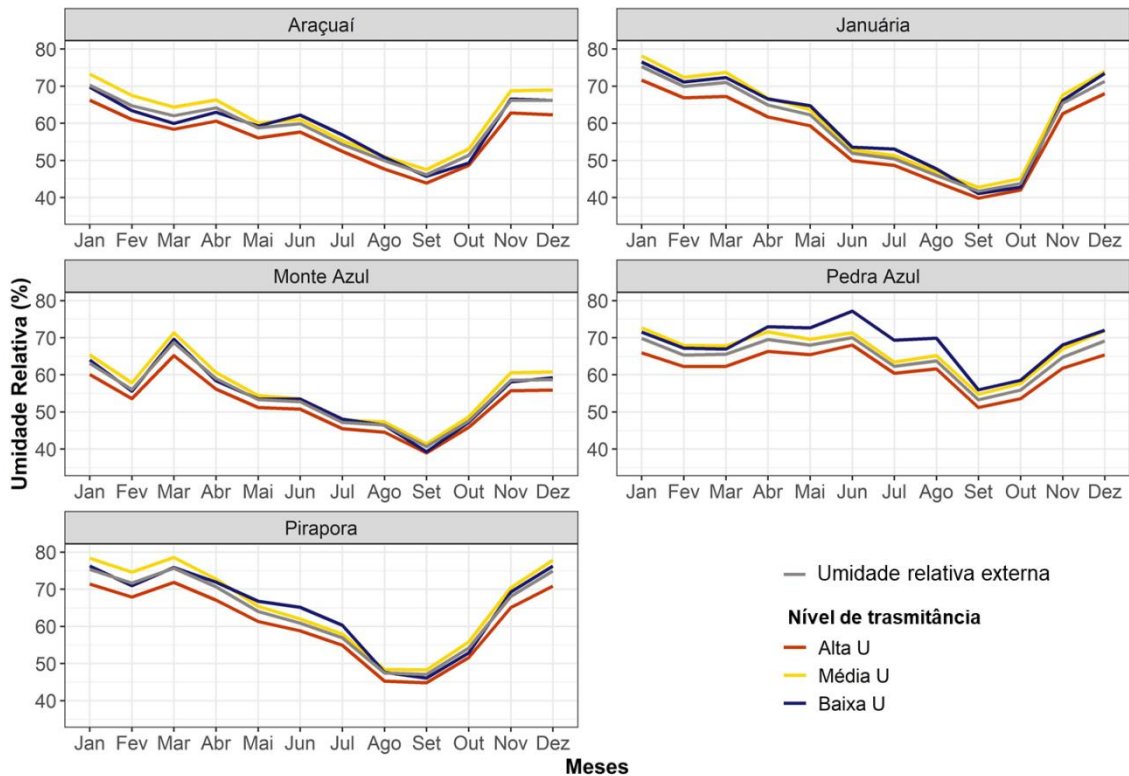
Ao se investigar, especificamente, o comportamento da composição de materiais com transmitância térmica média, pode-se perceber que o uso da mesma acarreta em temperaturas internas com valores abaixo da temperatura externa para todos os meses e em todas as cidades analisadas. Esse fato pode ser explicado devido a capacidade térmica desses materiais terem valores maiores do que aqueles observados nas transmitâncias baixa e alta (FIGURA 5).

Em relação ao uso de materiais com baixa transmitância, para a maior parte dos meses observa-se que o fluxo de temperatura é semelhante ao da temperatura externa, com exceção dos meses de inverno. Esse fato evidencia que o uso de materiais com baixa transmitância pode ser considerado inadequado quando analisados os meses mais frios, caracterizando, de maneira geral, o uso de materiais com transmitância média como os mais adequados.

Quando analisado o uso de materiais de alta transmitância, as temperaturas internas superaram as externas ao longo de todo o ano, para todas as cidades, sendo Araçuaí aquela que apresentou os maiores valores internos. De modo oposto, as temperaturas internas no município de Pedra Azul apresentaram os menores valores mínimos, na ordem de 23°C, nos meses de junho a agosto.

No que concerne às diferenças observadas quanto as umidades relativas internas e externas, o uso de materiais com alta transmitância térmica acarretou em valores de UR internos mais baixos que os externos. Essa diferença pode ser observada com mais expressividade para o município de Pedra Azul onde, em contrapartida, o uso de materiais com baixa transmitância promoveu percentuais de UR internos com maior amplitude em relação aos externos, evidenciando que o comportamento da habitação simulada para essa cidade foi mais sensível às variáveis climáticas, quando comparado às demais (FIGURA 9).

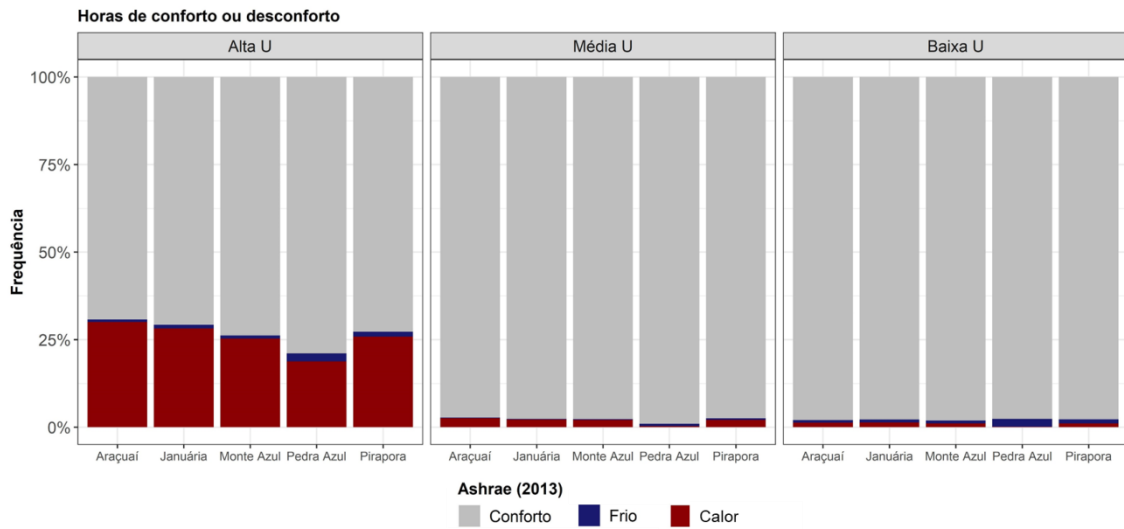
Figura 9. Umidades relativas mensais internas e externas para as cidades analisadas



Fonte: Elaborada pela autora.

No que se refere aos resultados obtidos para o conforto térmico adaptativo, o uso de materiais com alta transmitância acarretou em maiores frequências de desconforto anual (acima de 25%), principalmente por calor. Por outro lado, o uso de materiais com média e baixa transmitância promoveram maiores níveis de conforto, cerca de 90% da frequência anual, com valores de desconforto por frio e calor mais equitativos (FIGURA 10).

Figura 10. Conforto adaptativo anual, em cada nível de transmitância, para os municípios analisados



Fonte: Elaborada pela autora.

Em relação aos municípios em estudo, Araçuaí apresentou, em todos os níveis de transmitância, maiores valores de desconforto por calor, na ordem de 30,0, 2,6 e 1,3%, para alta, média e baixa transmitância térmica global, respectivamente. Pedra Azul, apesar de estar classificada na mesma zona bioclimática que Araçuaí (ZB5), apresentou comportamento distinto ao observado nesse município (TABELA 5). Esse fato pode demonstrar uma incongruência no processo de definição das zonas bioclimáticas apresentadas na NBR15220 (ABNT, 2005), como também salienta Martins et al. (2012) ao estudar o comportamento de edificações no semiárido alagoano.

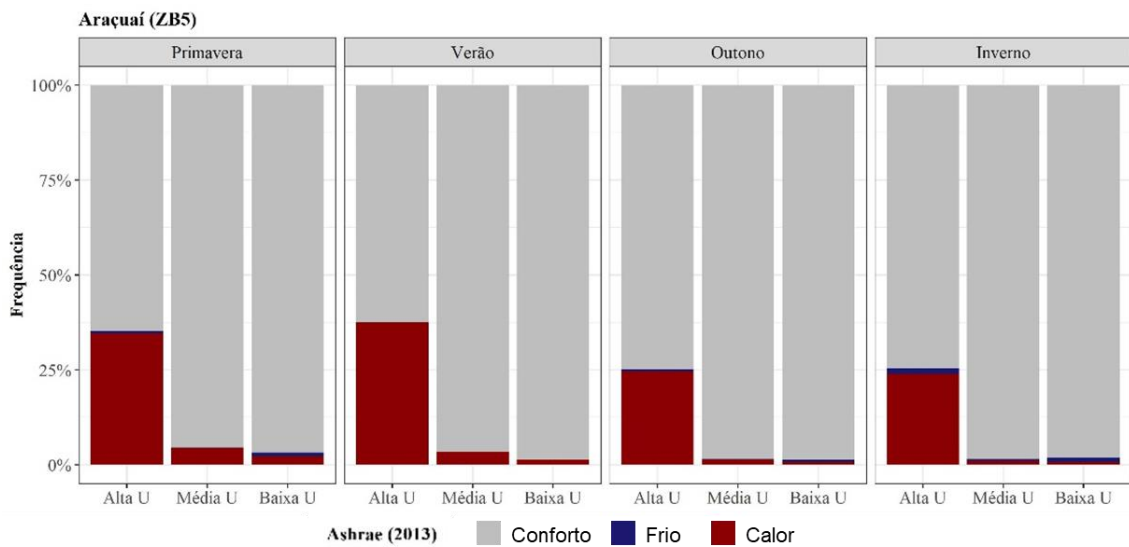
Tabela 5. Percentuais de conforto adaptativo anual para cada município em estudo

Município	Alta U			Média U			Baixa U		
	Conf. (%)	Frio (%)	Calor (%)	Conf. (%)	Frio (%)	Calor (%)	Conf. (%)	Frio (%)	Calor (%)
Araçuaí (ZB5)	69.2	0.7	30.05	97.2	0.2	2.6	98.0	0.7	1.3
Januária (ZB6)	70.7	1.1	28.2	97.6	0.2	2.2	97.8	0.9	1.4
Monte Azul (ZB7)	73.8	0.9	25.3	97.7	0.2	2.1	98.1	0.8	1.1
Pedra Azul (ZB5)	79.0	2.3	18.8	99.0	0.7	0.3	97.6	2.2	0.2
Pirapora (ZB4)	72.7	1.4	25.8	97.5	0.4	2.1	97.8	1.1	1.1

Fonte: Elaborada pela autora.

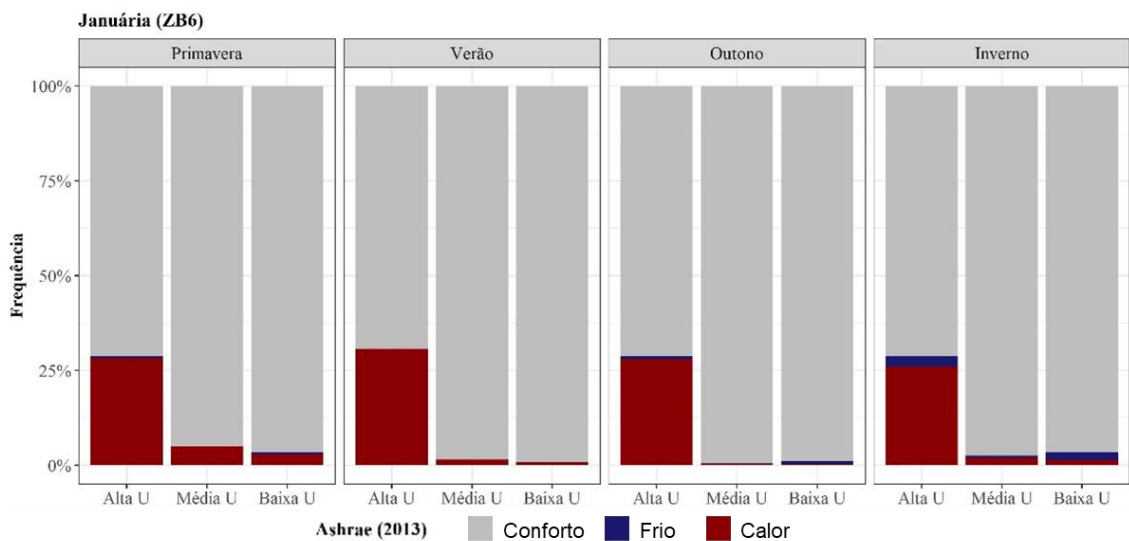
Ao analisar o conforto térmico adaptativo de maneira sazonal, pode-se perceber que os maiores níveis de desconforto por calor, para Araçuaí, ocorreram quando simulados os materiais com alta transmitância, com frequências acima de 35% para a primavera e o verão (FIGURA 11). Comportamento semelhante pode ser observado para os municípios de Januária, Monte Azul e Pirapora, como apresentado nas figuras 12, 13 e 14.

Figura 11. Conforto adaptativo para o município de Araçuaí, por estação do ano



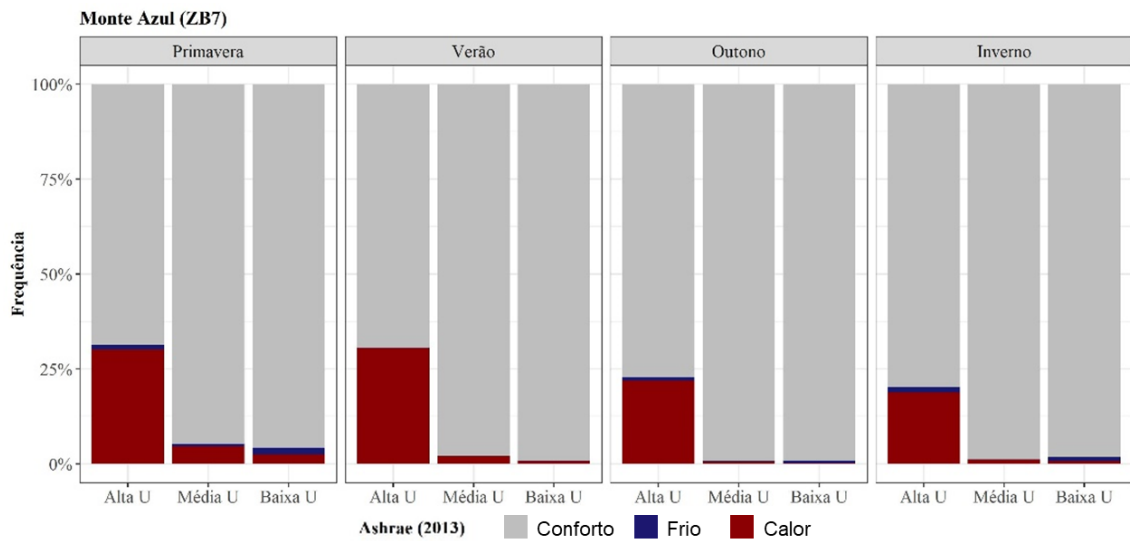
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 12. Conforto adaptativo para o município de Januária, por estação do ano.



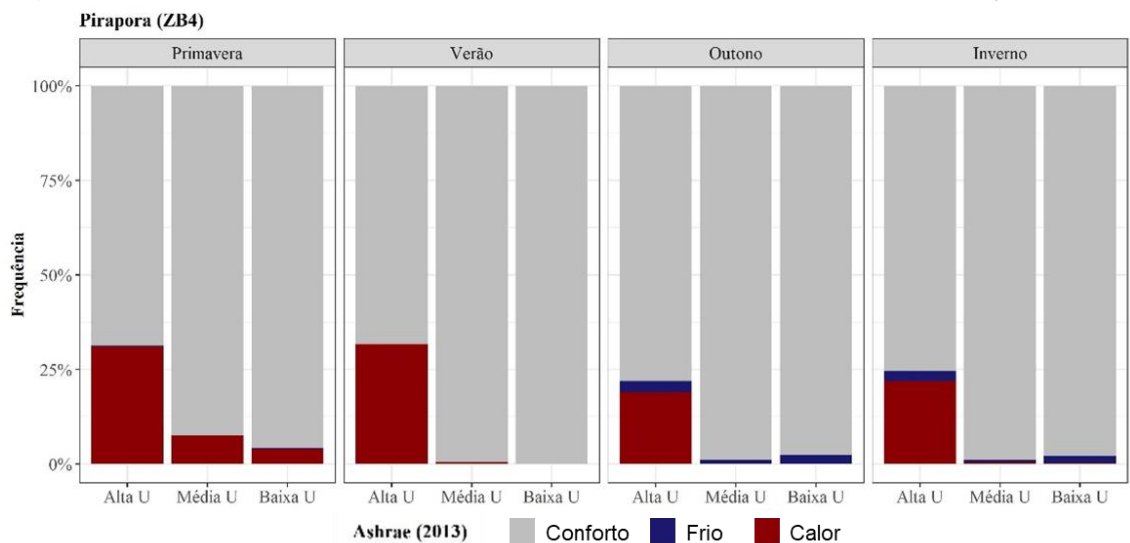
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 13. Conforto adaptativo para o município de Monte Azul, por estação do ano.



Fonte: Elaborada pela autora.

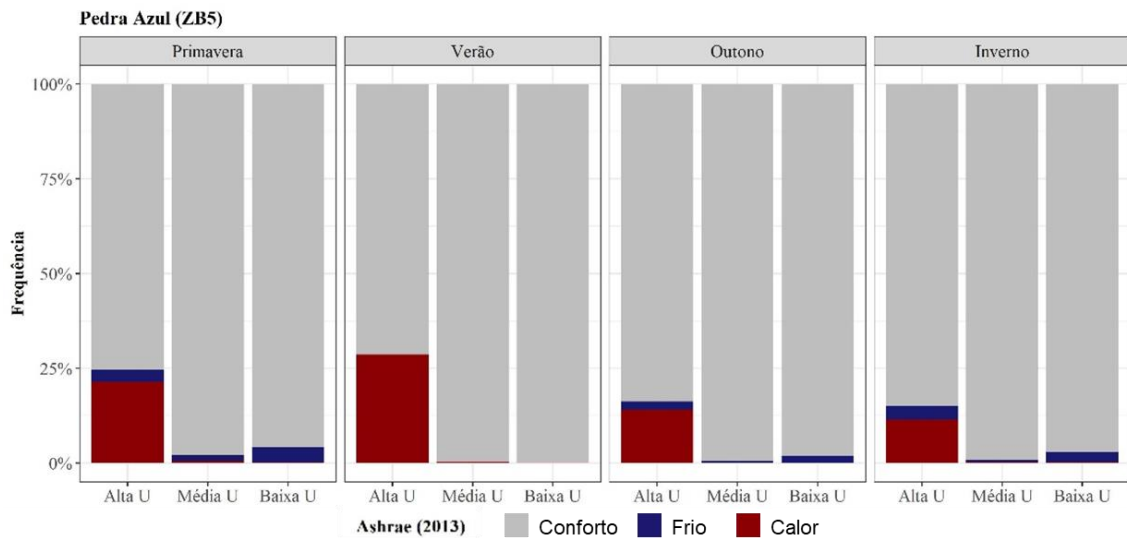
Figura 14. Conforto adaptativo para o município de Pirapora, por estação do ano.



Fonte: Elaborada pela autora.

Pedra Azul apresentou os maiores percentuais de desconforto por frio dentre os municípios analisados, com frequências na ordem de 5% nas estações da primavera, outono e inverno (FIGURA 15). Apesar disso, o maior percentual de frequência de horas de desconforto por calor, ao utilizar materiais de alta transmitância, seguiu o mesmo padrão observado nas demais cidades.

Figura 15. Conforto adaptativo para o município de Pedra Azul, por estação do ano.



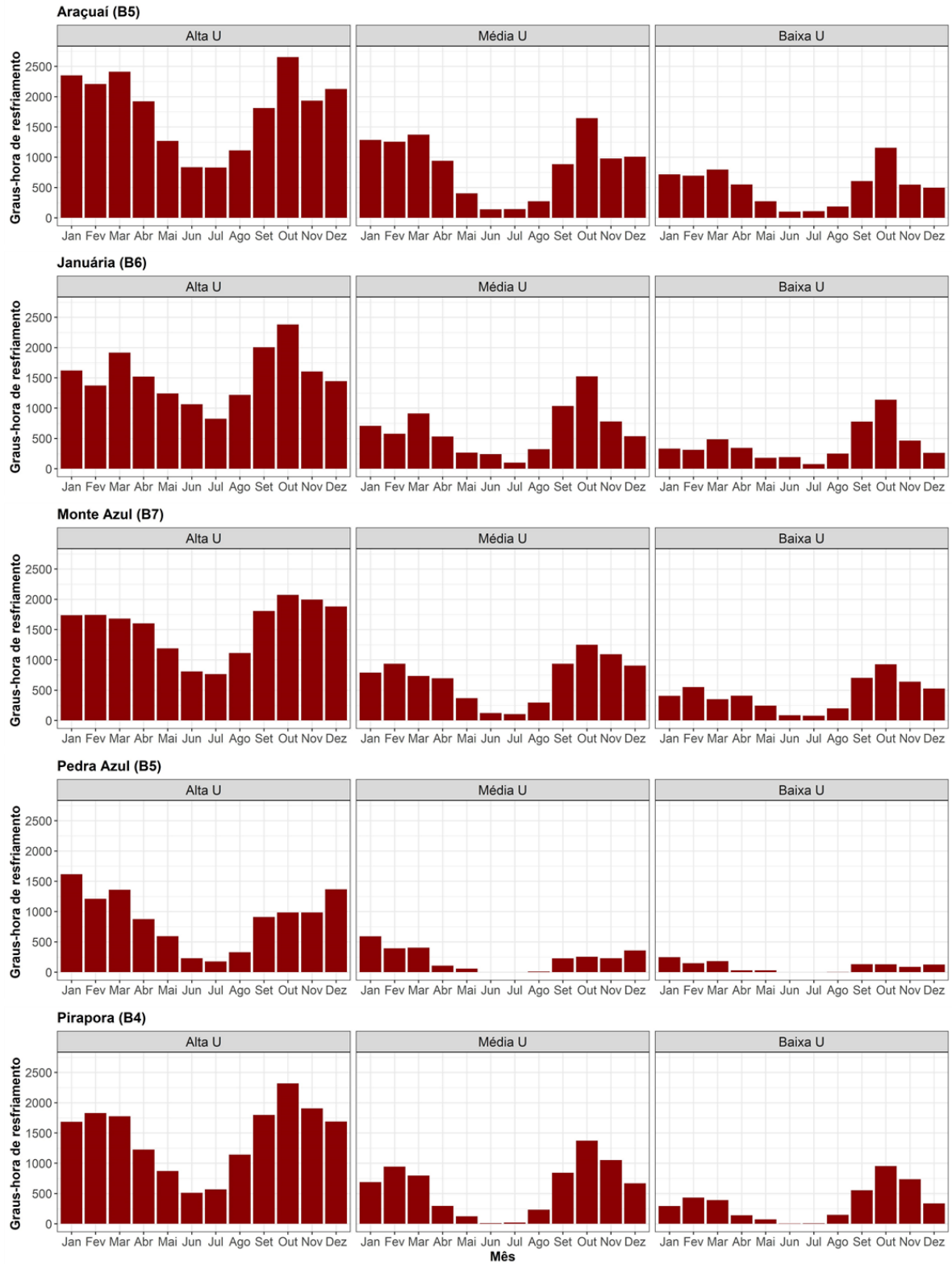
Fonte: Elaborada pela autora.

De maneira geral, o uso de materiais de alta transmitância promoveu uma maior frequência de horas de conforto durante os meses do outono e do inverno, enquanto ao simular materiais com média e baixa transmitâncias os maiores percentuais de conforto são observados no verão.

No que concerne à análise de desempenho térmico por graus-hora, para todos os municípios e considerando os três níveis de transmitância dos materiais simulados, não foi observada a necessidade de horas de aquecimento em nenhum dos meses. Esse fato também foi constatado por Martins et al. (2012), Torres e Batista (2014), Oliveira et al. (2017) e Araújo et al. (2017) e, como explica Stensjö et al. (2017), para o norte de Minas Gerais ocorre um crescimento na demanda de graus de resfriamento em detrimento das necessidades de graus de aquecimento.

Em relação a necessidade de horas de resfriamento, constatou-se que essa foi maior quando simulados materiais com alta transmitância térmica, sobretudo para os municípios de Araçuaí, Januária e Pirapora (FIGURA 16). Esse comportamento é corroborado por Silva e Ghisi (2013) e Oliveira e Lunardi (2018), que destacam que quanto maior o valor da transmitância térmica maior a demanda por resfriamento, o que reflete, muitas das vezes, em um aumento no consumo de eletricidade da edificação.

Figura 16. Graus hora de resfriamento para todas as combinações para todos os meses.



Fonte: Elaborada pela autora.

Constatou-se ainda, uma menor necessidade de horas de resfriamento nos meses de junho e julho, para todos os municípios em análise. Destaca-se a cidade de Pedra Azul que, considerando o uso de materiais com baixa e média transmitância térmica, apresentou valores iguais a zero para a necessidade de horas de resfriamento nos referidos meses (FIGURA 16).

Um aspecto importante a ser salientado consiste no fato de que, no presente estudo, a transmitância térmica não foi um parâmetro simulado de forma isolada na edificação. Dessa forma, outros fatores termo físicos que não foram objeto de estudo neste trabalho também podem apresentar importância analítica, como é o caso da capacidade e absorvância térmicas.

Por fim, pôde-se perceber que, apesar das cidades Araçuaí (ZB5), Januária (ZB6), Monte Azul (ZB7) e Pirapora (ZB4) estarem localizadas em zonas bioclimáticas distintas, como estabelecido na NBR 15220 (ABNT, 2005), as mesmas apresentaram comportamentos similares em relação a influência dos valores de transmitância nos indicadores de conforto e desempenho térmico. Esses resultados apontam para um questionamento sobre a necessidade de alocação dessas cidades em diferentes zonas, uma vez que se observa uma convergência na resposta da edificação em relação aos parâmetros simulados.

Além disso, as cidades de Araçuaí e Pedra Azul, mesmo estando na mesma zona bioclimática (ZB5) apresentaram comportamentos opostos, evidenciando que, apesar de terem sido agrupadas por possuírem características climáticas semelhantes, as mesmas divergem quanto a resposta da edificação. Discrepâncias em relação ao zoneamento apresentado na NBR 15220 (ABNT, 2005), como as observadas no presente estudo, também foram constatadas por Martins et al. (2012), Bogo (2016), e Ferreira et al. (2017), sugerindo a relevância de uma revisão dos critérios para a definição das zonas bioclimáticas brasileiras.

4 CONCLUSÃO

Levando em consideração os aspectos apresentados, pode-se concluir que o uso de materiais com baixa e média transmitância apresentaram os melhores comportamentos quando comparados com os de alta, uma vez que a transmitância térmica global dos mesmos acarretou em um maior percentual anual de horas conforto e uma menor necessidade de graus hora de resfriamento, para todos os municípios analisados.

Quando comparado exclusivamente o uso de materiais com baixa e média transmitância, constata-se o melhor desempenho da edificação simulada com materiais de transmitância média, sobretudo nos meses de inverno. Esse fato pode estar relacionado aos altos valores de capacidade térmica dos materiais da composição com transmitância térmica global média, uma vez que as simulações não foram parametrizadas no intuito de isolar o efeito das propriedades termo físicas dos materiais analisados.

Os municípios de Araçuaí (ZB5), Januária (ZB6), Monte Azul (ZB7) e Pirapora (ZB4), apresentaram respostas similares em relação aos indicadores térmicos avaliados, mesmo estando inseridos em zonas bioclimáticas diferentes. Em contrapartida, os municípios de Araçuaí e Pedra Azul, mesmo estando na mesma zona bioclimática (ZB5), apresentaram respostas opostas. Essa discrepância em relação aos efeitos do uso de materiais com diferentes níveis de transmitância nessas cidades sugere a necessidade de um aperfeiçoamento nos critérios para a classificação dos municípios nas zonas bioclimáticas.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ABRAHÃO, K. C. F. **Avaliação dos pesos regionais do RTQ-R a partir da análise da estrutura do consumo residencial de energia elétrica por região geográfica**. 2015. 244f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

AHANGARI, M.; MAEREFAT, M. An innovative PCM system for thermal comfort improvement and energy demand reduction in building under different climate conditions. **Sustainable Cities and Society**, v. 44, p. 120-129, 2019.

AMORIM, A. C. **Análise de métodos de determinação do zoneamento bioclimático brasileiro a partir do estudo de caso de Colatina – ES**. 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

ARAÚJO, M. L. T.; BARBOSA, G. L.; BATISTA, J. O. Desempenho térmico de residência unifamiliar PMCMV em diferentes cidades alagoanas. In: ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 14, 2017, Brasília. **Anais eletrônicos...** Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico4artigo22.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. **Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy**. ASHRAE: Atlanta, 2010.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. **Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy**. ASHRAE: Atlanta, 2013.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e Cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: EDUFAL, 2007, 164 p.

BIANCO, V.; ROSA, M.; SCARPA, F.; TAGLIAFICO, L. A. Analysis of energy demand in residential buildings for different climates by means of dynamic simulation. **INTERNATIONAL JOURNAL OF AMBIENT ENERGY**, v.37, n.2, p. 108-120, 2016.

BOGO, A. J. Reflexões críticas quanto as limitações do texto das normas brasileiras de desempenho NBR 15220-3 e NBR 15575. **HOLOS**, v. 7, p. 290-298, 2016.

CRAWLEY, D. B.; LAWRIE, L. K. Rethinking the TMY: is the 'typical' meteorological year best for building performance simulation? In: **14 Conference of International Building Performance Simulation Association**. Hyderabad, India. 2015.

DOE – UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus: version 9.0.1**, 2019. Disponível em: <https://energyplus.net/>. Acesso em: 20 Jan. 2020.

FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A.; ASSIS, E. S. Discussão dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos segundo as normas de desempenho térmico brasileiras. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 183-200, 2017.

GAO, H.; KOCH, C.; WU, Y. Building information modelling based building energy modelling: A review. **Applied energy**, v. 238, p. 320-343, 2019.

GIVONI, B. Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

GUNAWARDENA, K.; STEEMERS, K. Adaptive comfort assessments in urban neighbourhoods: Simulations of a residential case study from London. **Energy and Buildings**, v. 202, p. 109322, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: Características gerais dos domicílios e dos moradores 2018**. Rio de Janeiro, 2019.

INMETRO. **Anexo V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**, Portaria 50, Edição, 2013

INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade Para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais (RTQ-R)**, Portaria 18, Edição, 2012.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Ed. São Paulo: Eletrobrás/Procel, 2014.

MAHAR, W. A.; VERBEECK, G.; REITER, S.; ATTIA, S. Sensitivity Analysis of Passive Design Strategies for Residential Buildings in Cold Semi-Arid Climates. **Sustainability**, v. 12, n. 3, p. 1091, 2020.

MARTINS, T. A. L.; BITTENCOURT, L. S.; KRAUSE, C. M. L. B. Contribuição ao zoneamento bioclimático brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 59-75, 2012.

OLIVEIRA, C. C.; SAKIYAMA, N. R. M.; MIRANDA, L. V. Desempenho térmico de uma edificação unifamiliar naturalmente ventilada para o clima de Teófilo Otoni-mg. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 2, 2017.

OLIVEIRA, P. A.; LUNARDI, D. G. Influência da envoltória no desempenho termoenergético de edificações institucionais no semiárido. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 9, n. 4, p. 276-289, 2018.

RINCÓN, L.; CARROBÉ, A.; MARTORELL, I.; MEDRANO, M. Improving thermal comfort of earth end wellings in sub-Saharan Africa with passive design. **Journal of Building Engineering**, v. 24, p. 100732, 2019.

RODRIGUES, M. G. **Consumo de energia elétrica de habitações com sistemas fotovoltaicos sob a tarifa branca e convencional**. 2019. 140 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2019.

SGHIOURI, H.; MEZRHAB, A.; KARKRI, M.; NAJI, H. Shading devices optimization to enhance thermal comfort and energy performance of a residential building in Morocco. **Journal of Building Engineering**, v. 18, p. 292-302, 2018.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise de sensibilidade global dos parâmetros termo físicos de uma edificação residencial de acordo com o método de simulação do RTQ-R. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 4, p. 135-148, 2013.

SOFLAEI, F.; SHOKOUHIAN, M.; TABADKANI, A.; MOSLEHI, H.; BERARDI, U. A simulation-based model for courtyard housing design based on adaptive thermal comfort. **Journal of Building Engineering**, p. 101335, 2020.

SORGATO, M. J. **A influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais**. 2015. 260 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. 2009. 216f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

STENSJÖ, I. P.; FERREIRA, C. C.; LOURA, R. M. Classificação e agrupamento das cidades brasileiras em graus-dia de aquecimento e resfriamento: 1960 a 2013. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, n. 1, p. 286-300, 2017.

SUDENE – SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Resolução n.115**, de 23 de novembro de 2017. Diário Oficial da União n.232, 5 de dezembro de 2017.

TELLES, C. P. **Proposta de simplificação do RTQ-R**. 2016. 118 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2016.

TIAN, Z.; ZHANG, X.; JIN, X.; ZHOU, X.; SI, B.; SHI, X. Towards adoption of building energy simulation and optimization for passive building design: A survey and a review. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1306-1316, 2018.

TOKUÇ, A.; YESÜGEY, S. C.; BAŞARAN, Tahsin. An evaluation methodology proposal for building envelopes containing phase change materials: the case of a flat roof in Turkey's climate zones. **Architectural Science Review**, v. 60, n. 5, p. 408-423, 2017.

TORRES, D.; BATISTA, J. Desempenho Térmico de Habitação Popular no Estado de Alagoas. In: ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 15, 2014, Maceió. **Anais eletrônicos...** Maceió, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Juliana_Batista9/publication/301434619_Desempenho_termico_de_habitacao_popular_no_estado_de_Alagoas/links/59a611570f7e9b41b786d8aa/Desempenho-termico-de-habitacao-popular-no-estado-de-Alagoas.pdf. Acesso em: 10 mar. 2020.

VIVIAN, J.; CHIODARELLI, U.; EMMI, G.; ZARRELLA, A. A sensitivity analysis on the heating and cooling energy flexibility of residential buildings. **Sustainable Cities and Society**, v. 52, p. 101815, 2020.

WANG, C.; ZHU, Y.; GUO, X. Thermally responsive coating on building heating and cooling energy efficiency and indoor comfort improvement. **Applied Energy**, v. 253, p. 113506, 2019.

WEBER, F. S.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; GUTHS, S.; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros no programa *EnergyPlus*: relatório técnico** LABEEE. Florianópolis, 2017.

WEIß, T.; FULTERER, A. M.; KNOTZER, A. Energy flexibility of domestic thermal loads—a building typology approach of the residential building stock in Austria. **Advances in Building Energy Research**, v. 13, n. 1, p. 122-137, 2019.