

Amplitudes térmicas diárias no Estado do Paraná e Níveis de Inércia Térmica para habitações com baixo consumo energético

Daily thermal range in the State of Paraná and Thermal Inertia Levels for houses with low energy consumption

Camila Kramel

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

camilakramel@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7840-7546>

Radmyla Teixeira Nunes

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

radmyladriveuni@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8094-0892>

Sabrina Talita Szulek Bernardes

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

sabrinaszulek@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2886-5172>

Pedro Augusto Breda Fontão

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

pedrofontao@ufpr.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7293-2742>

Leandro Carlos Fernandes

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

fernandes.ufpr@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4393-7322>

RESUMO

As habitações devem cumprir a função de abrigo com baixo impacto ambiental. Entre os parâmetros para projetos de edificações com baixo impacto ambiental estão os modelos adaptativos de conforto térmico, que impõem limites para as amplitudes térmicas diárias em ambientes internos. Em relação aos artifícios para dotar as edificações de níveis de inércia térmica adequados estão a capacidade térmica e o isolamento térmico, visando reduzir a utilização de aparelhos e condicionadores de ar, contribuindo para o conforto e a qualidade de vida da população. Dessa forma, para aplicação desses artifícios é necessário conhecer as amplitudes térmicas diárias dos ambientes externos. No entanto, no Brasil não estão disponíveis mapas de amplitudes térmicas diárias ou de níveis de inércia térmica recomendados por regiões climáticas. Esta pesquisa teve como objetivo verificar as amplitudes térmicas diárias e propor níveis de inércia térmica relativa para habitações no Estado do Paraná. Para tanto, foram utilizados dados de estações meteorológicas de 49 municípios, sendo 29 deles no Paraná e o restante no entorno da área de estudo. As análises foram feitas com base em diferentes percentis (99,5, 99, 97,5 e 95), 10 perfis de amplitude e dois valores de referência da amplitude diária máxima recomendada para o ambiente interno de uma edificação (5 °C e 7 °C). Os mapas produzidos permitem aos projetistas obterem as amplitudes térmicas diárias de referência (externas) para projeto e os níveis de inércia térmica (internos) recomendados para habitações.

Palavras-chave: Amplitude térmica diária, Nível de Inércia Térmica, Edificações passivas, Edificações com baixo consumo energético, Climatologia.

ABSTRACT

Buildings must perform the function of shelter with low environmental impact. Among the parameters for efficient building projects, there are the adaptive thermal comfort models, which impose limits on the daily thermal amplitudes in indoor environments. Between the strategies to provide buildings with adequate levels of thermal inertia are thermal capacity and thermal insulation, aiming to reduce the use of air conditioners and appliances, contributing to the population's comfort and quality of life. Thus, for the correct application of these measures, it is necessary to know the daily thermal amplitudes of the external environments. However, in Brazil, maps of daily thermal amplitudes or levels of thermal inertia recommended by climatic regions are not available. This research aimed to verify the daily thermal amplitudes and the levels of thermal inertia recommended for housing in the state of Paraná. For this purpose, data from meteorological stations installed in 49 municipalities were used, 29 of them in Paraná and the rest in the surroundings of the study area. Analyzes were performed based on different percentiles (99.5, 99, 97.5 and 95), 10 amplitude profiles and two reference values of the maximum recommended daily amplitude for the indoor environment of a building (5 °C and 7 °C). The maps produced allow designers, with coordinates of any location in the state, to obtain the daily thermal amplitudes of reference (external) for the project and the levels of thermal inertia (internal) recommended for houses.

Keywords: Daily thermal range, Thermal Inertia Level, Passive buildings, Near Zero Energy Buildings (nZEB), Climatology.

1. INTRODUÇÃO

A edificação é um artifício para antropização e transformação de lugares para sua adequação às demandas humanas. Em ambientes externos, a variabilidade climática e os efeitos térmicos dos extremos diários de temperatura interferem diretamente nos diversos organismos do Planeta, incluindo períodos diurnos estressantes e períodos noturnos mais amenos ao longo do tempo e espaço (MA; HOFFMANN; MA, 2015). No caso dos seres humanos, tal influência também ocorre, ficando ainda mais evidente no comportamento geral da sociedade e dos indivíduos, nos aspectos físicos, sociais, econômicos e estruturais, fator que levou o homem a adequar seus ambientes construídos ao clima de uma determinada localidade e a construir espaços que possibilitem melhores condições de conforto (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Nessa perspectiva, o objeto é o ambiente a ser gerado e a edificação é um recurso para obtê-lo. Porém, quando se pensa no conforto térmico em uma determinada sociedade, a questão fica um pouco mais complexa e até com um certo grau de subjetividade. Embora tenham surgido nos últimos anos diversos estudos que buscaram investigar respostas térmicas em uma escala mais reduzida de análise (SANT'ANNA NETO, 2011; CARDOSO; VECCHIA, 2015; RUPP *et al.*, 2017; GOBO *et al.*, 2019; dentre outros), seja em ambientes internos ou externos, a temática ainda carece de metodologias adequadas e acuradas para diferentes tipos de localidades e uma articulação com as escalas regionais, levando em conta os aspectos culturais e as variáveis geográficas em nível espacial.

Entre os diferentes tipos de edificações existentes, destacam-se, tanto no meio urbano como rural, aquelas destinadas para habitação. No Brasil, as habitações constituem grande parte do conjunto de edificações. São aproximadamente 72,4 milhões de domicílios particulares permanentes (casas, apartamentos ou cômodos), sendo aproximadamente 62 milhões caracterizados como casas e 10 milhões como apartamentos (IBGE, 2020). Destes domicílios, uma minoria é climatizada artificialmente. Estima-se cerca de 0,4 aparelhos de ar-condicionado por residência. Essa realidade contrasta com a de países como China e Estados Unidos, que possuem aproximadamente 1 e 2 aparelhos por residência, respectivamente (EPE, 2018). Por isso, são necessários esforços para que o condicionamento térmico natural esteja em harmonia com as demandas dos usuários.

Desse modo, para projetar corretamente o ambiente térmico dessas habitações é necessário conhecer: a) As demandas para o conforto térmico em habitações condicionadas naturalmente; b) O clima para o qual se projeta a habitação; c) As propriedades dos materiais e componentes construtivos disponíveis; d) E, por fim, os artifícios para relacionar corretamente os três itens anteriores. Portanto, o presente estudo buscou realizar uma análise mais detalhada das amplitudes térmicas diárias dos ambientes externos no Estado do Paraná e dos níveis de inércia térmica de edificações para os diferentes perfis e respostas térmicas, visando estimar valores recomendados para as edificações e contribuir para a construção de habitações mais adequadas e com baixo consumo energético, tendo em vista que uma maior exposição interna às temperaturas adequadas apresenta potencial para reduzir a utilização de ventiladores, aquecedores e aparelhos de ar-condicionado.

1.1. Demandas para o conforto térmico em habitações condicionadas naturalmente

As demandas para o conforto térmico em habitações são expressas por modelos de conforto térmico. No Brasil, estão vigentes duas normas técnicas principais: NBR 15220 (ABNT, 2005a) e NBR 15.575 (ABNT, 2013), nas quais foram adotadas faixas de conforto térmico estáticas adaptadas da carta bioclimática de Givoni (1992). No entanto, vários pesquisadores defendem a adoção de modelos de conforto térmico adaptativos (dinâmicos), que considerem o fator aclimação (CÂNDIDO *et al.*, 2011). Os modelos adaptativos mais difundidos e utilizados no Brasil são o modelo americano (ASHRAE, 2017) e o modelo europeu (CEN, 2007). No modelo americano, adotam-se temperaturas operativas neutras em torno das quais são definidas duas faixas de conforto térmico: para 90 % de aceitabilidade; e para 80 % de aceitabilidade (ASHRAE, 2017). A adoção do modelo de conforto térmico adaptativo para edificações condicionadas naturalmente implica na utilização de

seus parâmetros para projeto, e, entre eles, seus limites para as amplitudes térmicas diárias das temperaturas operativas internas.

A amplitude térmica diária é considerada como de grande importância por pelo menos três proponentes de procedimentos para o projeto de edificações: Evans (2003), que a utilizou como uma das variáveis de entrada em seu diagrama; Givoni (1976), que a considerava de forma indireta, via umidade relativa do ar; e Mahoney (SZOKOLAY, 2008), que a utilizava nas chamadas ‘tabelas de Mahoney’.

Para adequação do desempenho térmico de uma edificação, quanto maior a amplitude térmica diária do local de implantação, maior deverá ser seu Nível de Inércia Térmica (NIT). Quanto maior o NIT, menor a amplitude térmica diária no interior da edificação (FERNANDES, 2020). Em relação à Amplitude Térmica Diária Interna Máxima (ΔT_d in máx) para edificações condicionadas naturalmente, alguns autores (AULICIEMS, 1981; BOGO *et al.*, 1994; GIVONI, 1998; EVANS, 2007) e normas (CEN, 2007; ASHRAE, 2017; ABNT/CB-055, 2016) sugerem valores para servirem de referência (**Tabela 1**).

Tabela 1: Amplitudes térmicas internas diárias de acordo com a bibliografia consultada

Modelo	Amplitude máx. (°C) para edificações com expectativa alta	Amplitude máx. (°C) para edificações com expectativa moderada
Auliciems (1981)	-	4
Bogo <i>et al.</i> (1994)	-	11
Givoni (1998) países desenvolvidos	-	7
Givoni (1998) países em desenvolvimento	-	9
Evans (2007)	-	8,3
EN15251 (CEN 2007)	6	8
ASHRAE (2017)	5	7
ABNT/CB-55 (2016)	5	7

Fonte: Autoria própria (2021).

1.2. Climatologia aplicada às edificações

Tendo em vista a importância do clima para as atividades humanas (MCGREGOR, 2012; FIALHO *et al.*, 2019) e do conforto térmico para os ambientes construídos (NICOL; HUMPHREYS, 2002; RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015), cabe à climatologia aplicada às edificações realizar as análises dos métodos e prover dados para os processos de projeto (CESAR; ALVES; AKUTSU, 2005). O tipo de dado requerido vai depender da etapa e das especificidades do projeto.

Dados climáticos sintéticos sobre o clima são utilizados nas etapas iniciais do projeto de desempenho de um ambiente térmico. Geralmente, são dados médios ou representativos de períodos rigorosos (ou extremos), tais como: temperaturas e umidades relativas mínimas, médias, máximas e em percentis; amplitudes térmicas diárias máximas e em percentis; velocidade, direção e frequência de ocorrência de ventos. Também são utilizados dias típicos de projeto. Segundo Sattler (1989), o dia típico de projeto é um dia teórico cujas características resultam da média das características dos dias situados em um intervalo de $\pm 0,5$ % (6 dias) de um período total (1280 dias). Para Cesar, Alves e Akutsu (2005), o dia típico de projeto é um dia real, caracterizado pela velocidade média predominante do vento no local e pelos valores horários das seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar incidente em superfície horizontal.

Devido à indisponibilidade de dados para muitos municípios, em geral são utilizados como referência dados climáticos de locais próximos, disponíveis em mapas e normas com zoneamentos, como na Parte 3 da NBR 15220: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005a). No entanto, dados médios são de pouca utilidade para o projeto de edificações com alto desempenho térmico, pois tais edificações devem responder adequadamente tanto nos períodos amenos quanto nos extremos de tempo meteorológico.

Dados sintéticos são obtidos após o processamento de grandes volumes de dados horários ou diários, geralmente abrangendo períodos de vários anos. Dados deste tipo estão disponíveis *online* no *website* oficial da *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* – ASHRAE. São apresentados valores médios de percentis de vários subconjuntos de dados, cada um abrangendo um ano (8760 horas de dados processados). Os valores referentes aos percentis de verão, 99,6, 99, 98 e 95, indicam que, em média, tais valores são excedidos em 35 (0,4%), 88 (1%), 175 (2%) e 438 (5%) das horas do ano, respectivamente. Para o período frio, são informadas as temperaturas médias nos percentis 1 e 0,4 %, sendo que, em média, 88 e 35 horas do ano poderão apresentar temperaturas mais baixas (ASHRAE, 2009). No Brasil, dados semelhantes foram disponibilizados para apenas 14 cidades (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998).

Também existem as Normais Climatológicas, que são valores médios calculados para períodos relativamente longos e compreendendo no mínimo três décadas consecutivas (DINIZ; RAMOS; REBELLO, 2014), conforme recomenda a Organização Meteorológica Mundial (OMM). O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponibilizou Normais Climatológicas para 440 estações meteorológicas de superfície, mas sem dados sobre amplitudes térmicas diárias (DINIZ; RAMOS; REBELLO, 2014). Mesmo que fossem disponibilizadas médias das amplitudes térmicas, elas não seriam muito úteis para subsidiar projetos de edificações.

Por fim, temos os conjuntos de dados anuais para análises visando diretrizes projetuais, que são conjuntos de valores horários abrangendo o período de um ano (8760 horas), selecionados de conjuntos maiores, contendo dados de 10, 20 ou até de 30 anos. Os dois principais usos para estes dados são: análises visando determinar estratégias de projeto adequadas aos climas; e simulações computacionais para validar decisões de projeto. Os principais tipos de conjuntos de dados abrangendo períodos anuais são: os anos climáticos de referências (*Test Reference Year* - TRY) e os anos meteorológicos típicos (*Typical Meteorological Year* - TMY3). O TRY apresenta dados horários de um ano real, médio, escolhido dentre um conjunto de anos climáticos (FLORES, 2016). O TMY3 apresenta um ano de valores horários (8760 registros), extraídos de conjuntos de até 30 anos (WILCOX; MARION, 2008) e de no mínimo 10 anos (RENNÉ, 2016). Para gerar um TMY, são identificados meses típicos. Estes meses são concatenados, formando um ano típico. Desta forma, o TRY é constituído por um ano médio e o TMY3 por meses médios. Portanto, não são próprios para análises de desempenho quando a ideia é considerar condições rigorosas (temperaturas ou amplitudes térmicas diárias em percentis específicos).

1.3. Propriedades térmicas dos materiais, dos componentes, das edificações

Pesquisas recentes permitiram conhecer melhor as propriedades térmicas dos materiais (ARMELIN *et al.*, 2004; INMETRO, 2013), dos componentes (ABNT, 2005b) e das edificações enquanto unidades (DEWSBURY; FAY; NOLAN, 2008). Entre as propriedades dos materiais de maior interesse para o estudo do desempenho térmico das edificações estão: a condutividade térmica (λ); o calor específico (c); e a densidade de massa aparente (ρ). Entre as propriedades térmicas dos componentes, citam-se: a transmitância térmica (U); a resistência térmica (R_t); a capacidade térmica (CT); a difusidade térmica; e o atraso térmico.

Entre as propriedades térmicas das edificações, citam-se: a transmitância térmica total; a capacidade térmica global; e a inércia térmica. Para a especificação destas propriedades é importante conhecer as variáveis climáticas, especialmente as amplitudes térmicas diárias, e ter em mente que a inércia térmica é dependente das demais propriedades térmicas.

1.4. Artíficos para o projeto de edificações

Entre os artifícios para adequação térmica de um ambiente, estão aqueles que visam dotar a edificação de inércia térmica, reduzindo as amplitudes térmicas diárias do ambiente interno frente às oscilações térmicas do ambiente externo. São exemplos de artifícios para aumentar a inércia térmica:

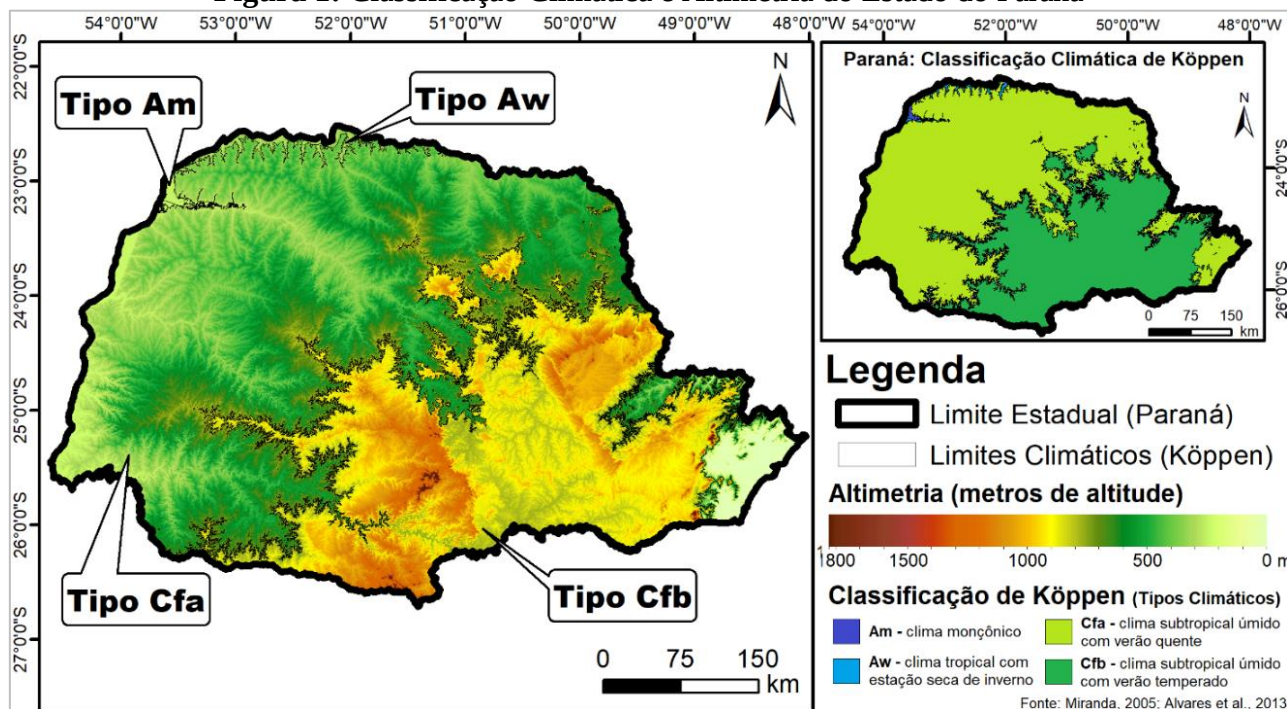
sombreamento, capacidade térmica, isolamento térmico e controle da ventilação. A alta inércia térmica é recomendada para seis das oito zonas climáticas da NBR 15220 para habitações de interesse social (ABNT, 2005a), abrangendo grande parte do território brasileiro. Dos artifícios citados, embora demande cuidados, destaca-se a capacidade térmica (VERBEKE; AUDENAERT, 2018). Em climas com temperaturas médias baixas, recomenda-se que seja utilizada em associação com ventilação seletiva, apropriada orientação da edificação, isolamento térmico e aquecimento solar passivo (DORNELLES, 2004). Em climas com períodos quentes, a capacidade térmica também pode proporcionar efeitos positivos, mas é necessário cuidado quanto à incidência solar (PAPST, 1999). Novamente, a atribuição de inércia térmica a partir do uso adequado dos materiais e componentes esbarra na falta de dados sobre as amplitudes térmicas diárias.

1.5. Disponibilidade de dados no Paraná

Dados sintéticos podem ser obtidos de mapas a partir de coordenadas geográficas. Para a área de estudo, estão disponíveis alguns mapeamentos climáticos como o Atlas Climático dos Estados do Sul do Brasil (WREGE *et al.*, 2012) e o Atlas Climático do Estado do Paraná (NITSCHKE *et al.*, 2019), ambos utilizando o sistema de classificação de Köppen-Geiger. No entanto, são mapas elaborados a partir de médias estatísticas, insuficientes para uma análise mais aprofundada da variabilidade climática e não detalham as amplitudes térmicas diárias. Há uma carência de materiais mais detalhados e/ou de novas propostas de classificação climática específicas para o Estado.

No Paraná, seguindo os critérios da classificação de Köppen para o Brasil feitos por Alvares *et al.* (2013), predominam dois tipos climáticos: Cfa (clima subtropical úmido com verão quente) e Cfb (clima subtropical úmido com verão temperado). Embora existam alguns pequenos fragmentos dos tipos Am e Aw no extremo noroeste, essa classificação sintetiza a área com base em poucas informações generalistas, vinculadas à altimetria e a médias pluviais e térmicas (**Figura 1**). A amplitude térmica e seus fatores de influência não são suficientemente contemplados nessa proposta, havendo a necessidade de avançar no conhecimento científico dessa variável na região. Vale ressaltar que o Paraná se encontra numa zona de transição climática (tropical-subtropical), sendo uma localidade ideal para a análise proposta nesta pesquisa.

Figura 1: Classificação Climática e Altimetria do Estado do Paraná



Fonte: MIRANDA (2005); ALVARES *et al.* (2013). Elaborado pelos autores (2021).

Embora a alta inércia térmica seja recomendada para todo o estado do Paraná e para seis das oito zonas bioclimáticas do território brasileiro (ABNT, 2005a), a principal variável para dimensioná-la, a amplitude térmica diária local, não está facilmente disponível para os projetistas. Levando em conta o exposto, esta pesquisa teve como objetivo verificar as amplitudes térmicas diárias do Estado do Paraná e os respectivos Níveis de Inércia Térmica Relativos Recomendados (NITRR), a fim de produzir subsídios para projetos de habitações com baixo consumo energético.

2. METODOLOGIA

2.1. Dados e região considerados na pesquisa

Nesta pesquisa, além de dados de estações meteorológicas localizadas no Paraná, foram utilizados, para interpolação, dados de estações do Mato Grosso do Sul, Santa Catarina e São Paulo. Foram levantados dados diários de temperaturas máximas e mínimas. Após tratamento e eliminação de inconsistências, falhas e/ou ausência de dados, para cada dia, foi calculada a amplitude térmica diária. A **Tabela 2** indica o município de cada um dos pontos de coleta, o período de dados contemplados e algumas informações operacionais.

Tabela 2: Municípios, fonte, tipo de estação meteorológica e anos com dados disponíveis

Município, estado	Fonte*/ Tipo de estação**	Período Anual (2000 a 2019)																			Total
		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1 Campo Mourão, PR	1/C	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	11
2 Curitiba, PR	1/C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	19
3 Irati, PR	1/C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	20
4 Ivaí, PR	1/C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	16
5 Londrina, PR	1/C	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	18
7 Maringá, PR	1/C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	20
7 Paranaguá, PR	1/C	X	-	X	-	X	X	-	-	-	X	X	X	X	-	X	X	-	X	X	13
8 Lapa, PR	2/C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	-	5
9 Palmas, PR	2/C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	3
10 Paranavaí, PR	2/C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	-	5
11 Pato Branco, PR	2/C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	2
12 Castro, PR	3/C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	14
13 Ilha do Mel, PR	3/C	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	12
14 Nova Fátima, PR	3/C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	20
15 Palotina, PR	3/C	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
16 Terra Rica, PR	3/C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	20
17 Clevelândia, PR	3/A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	20
18 Diamante do Norte, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
19 Foz do Iguaçu, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
20 General Carneiro, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
21 Ibaiti, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
22 Icaraíma, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
23 Inácio Martins, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
24 Iretama, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
25 Joaquim Távora, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	8
26 Mal. Cândido Rondon, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
27 Morretes, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
28 Paranapoema, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
29 Planalto, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
30 Itaquiraí, MS	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
31 Ivinhema, MS	3/A	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
32 Juti, MS	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
33 Sete Quedas, MS	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
34 Campos Novos, SC	1/C	X	X	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	13
35 Chapecó, SC	1/C	X	-	-	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	-	-	14
36 Indaial, SC	1/C	X	X	-	-	-	X	X	X	X	X	-	-	-	X	X	-	-	-	-	9
37 Itapoá, SC	3/C	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
38 Joaçaba, SC	3/C	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
39 Dionísio Cerqueira, SC	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
40 Itajaí, SC	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
41 Major Vieira, SC	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
42 Rio Negrinho, SC	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
43 São Miguel do Oeste, SC	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
44 Xanxerê, SC	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	8
45 Iguape, SP	3/A	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
46 Itapeva, SP	3/A	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
47 Ourinhos, SP	3/A	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
48 Presidente Prudente, SP	3/A	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
49 Rancharia, SP	3/A	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13

Fonte: *1. INMET; 2. IAPAR; 3. EMBRAPA/INMET. **Tipo de estação: C - Convencional; A – Automática.).

A maior parte dos dados foi obtida em sites oficiais mantidos pelas seguintes instituições: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, na página Agritempo – Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Vale ressaltar que os dados obtidos no site do projeto Agritempo, embora relacionados à EMBRAPA, foram medidos por estações pertencentes à rede INMET. Outra parte dos dados foi fornecida pelo Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR.

Como procedimento adotado, o levantamento considerou apenas dados recentes e disponíveis para o período 2000-2019. Devido às questões operacionais e de funcionamento de cada estação meteorológica, a disponibilidade de dados variou de uma estação para a outra, tendo sido adotado posteriormente a metodologia dos percentis para minimizar distorções de períodos e/ou variações bruscas provocadas por eventos extremos.

Ainda, quanto aos dados recebidos (temperaturas mínimas e máximas diárias), não houve preenchimento de falhas. Foram desconsiderados os dados classificados pelas instituições de monitoramento como estimados. Também foram desconsiderados períodos com dias seguidos apresentando valores idênticos para máximas e mínimas, como foi o caso de estações que registraram vários dias com as temperaturas mínimas iguais a 1°C (ausência de variabilidade). Outro caso observado foi a existência de mais de uma estação no mesmo município, e, nessas circunstâncias, foram utilizados os dados das estações com o maior número de anos inteiros com registros diários. Por exemplo, para Castro, Curitiba, Ivaí, Londrina e Maringá, haviam dados disponíveis em três estações. Para Chapecó, Irati e Presidente Prudente, haviam dados em duas estações.

2.2. Amplitudes térmicas diárias

2.2.1. Amplitudes térmicas diárias do ambiente externo

As amplitudes térmicas diárias foram calculadas conforme a **Equação (1)**. Para cada ano de dados, foram calculadas 365 amplitudes térmicas diárias.

$$\Delta T_{d\ ex} = T_{d\ máx} - T_{d\ mín} \quad (1)$$

Na qual:

$\Delta T_{d\ ex}$ é a amplitude térmica diária do ambiente externo (°C).

$T_{d\ máx}$ é a temperatura máxima do ar do ambiente externo (°C).

$T_{d\ mín}$ é a temperatura mínima do ar do ambiente externo (°C).

Reunidos os anos de dados para cada estação, foram calculadas as médias das amplitudes térmicas diárias nos percentis 99, 97,5 e 95, a fim de constituírem amplitudes de referência para os respectivos climas. Tais percentis significam que, em média, para um ano de dados, essas amplitudes serão excedidas em 1% (3,65 dias), 2,5% (9,1 dias) e 5% (18,25 dias) dos dias. Em seguida, para cada percentil, foram gerados mapas de amplitudes abrangendo o território do Paraná.

2.2.2. Amplitude térmica máxima para edificações condicionadas naturalmente

Nesta pesquisa, considerou-se o “3º Projeto de Revisão ABNT NBR 16401-2” (ABNT/CB-055, 2016), que prevê a adoção no Brasil do modelo adaptativo de conforto térmico proposto pela ASHRAE, e a própria norma ANSI/ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017). Foram adotados os valores máximos para as amplitudes térmicas diárias definidas para as faixas de aceitabilidade térmica contemplando 80 % da população (7 °C) e 90 % da população (5 °C).

2.2.3. Identificação de grupos de municípios com perfis de amplitudes térmicas semelhantes e definição de perfis médios para fins de projeto

Analisando os dados, percebeu-se a existência de padrões nas amplitudes térmicas, o que permitiu reunir os municípios em grupos segundo as amplitudes registradas. Para isso, foram definidos dez ‘perfis de amplitudes térmicas diárias’, considerando os valores nos percentis 99,5, 99, 97,5 e 95. Posteriormente, para cada grupo foi identificado um município cujas amplitudes poderiam ser tomadas como representativas do respectivo grupo/perfil.

Em geral, o procedimento aplicado nessa etapa da investigação é descrito e enumerado a seguir: 1) Para cada uma das localidades, em cada percentil (99,5, 99, 97,5 e 95), foram identificados os valores mínimos das amplitudes térmicas diárias; 2) Em cada percentil, a partir do valor inteiro imediatamente superior ao valor mínimo, foram definidos 10 intervalos de amplitudes com 1 °C cada; 3) Para cada uma das localidades, em cada percentil (99,5, 99, 97,5 e 95), foram calculados os valores médios; 4) Em seguida, os valores médios calculados na etapa 3 permitiram alocar os municípios segundo os intervalos definidos na etapa 2; 5) Por fim, foi identificado o município de referência para cada perfil.

2.3. Níveis de Inércia Térmica

2.3.1. Nível de Inércia Térmica (NIT) de uma edificação em dado clima

O NIT indica a capacidade da edificação de reduzir a flutuação das temperaturas internas comparativamente às externas (FERNANDES, 2020). Isto é, de reduzir as amplitudes térmicas diárias internas em comparação com as externas (**Equação 2**).

$$NIT = \frac{\Delta T_{d\ ex}}{\Delta T_{d\ in}} - 1 \quad (2)$$

Na qual:

$\Delta T_{d\ ex\ máx}$ é a amplitude térmica diária máxima externa (°C).

$\Delta T_{d\ in\ máx}$ é a amplitude térmica diária máxima interna (°C).

O NIT é próximo de zero (0,0) quando as amplitudes internas e externas forem semelhantes. Neste caso, a inércia da edificação é fraca e variações nas temperaturas externas repercutirão facilmente no ambiente interno. O NIT positivo indica que as amplitudes internas são menores que as externas e assinala resistência às flutuações do ambiente externo. O NIT negativo indica que as amplitudes internas são maiores que as externas, o que ocorre, por exemplo, quando a edificação apresenta efeito estufa. Em outras palavras: a ΔT_{ex} é equivalente à $NIT \times \Delta T_{in} + \Delta T_{in}$.

2.3.2. Nível de Inércia Térmica Relativo Recomendado (NITRR) para uma edificação em um dado clima

O NITRR expressa a relação recomendada entre a ΔT_d externa máxima ($\Delta T_{d\ ex\ máx}$) do clima local (amplitude térmica diária máxima externa em grau Celsius) e a ΔT_d máxima recomendada ($\Delta T_{d\ in\ máx\ rec}$) para o ambiente interno de uma edificação (amplitude térmica diária máxima interna em grau Celsius), dada por uma norma ou modelo de conforto térmico (FERNANDES, 2020). A **Equação 3** sintetiza tais informações:

$$NITRR = \frac{\Delta T_{d\ ex\ máx}}{\Delta T_{d\ in\ máx\ rec}} - 1 \quad (3)$$

Quando o valor do NITRR for menor ou igual a 0,0 (zero), a ΔT_d externa apresenta valor dentro do limite recomendado para o ambiente interno de edificação. Não é necessário investir em inércia térmica. Quando o NITRR for maior do que zero, a ΔT_d externa apresenta valor superior ao máximo recomendado para ambientes internos, sendo necessário adaptar o projeto para que a ΔT_d interna apresente valores dentro da faixa admitida.

Esta pesquisa adotou o modelo adaptativo proposto pela ANSI/ASHRAE 55 (2017) e seus valores de referência para a ΔT_d *in máx*, 5 °C e 7 °C. Dessa maneira, foram calculados os NITRR para os locais de cada uma das estações meteorológicas. Para isso, foram utilizadas as médias das amplitudes térmicas diárias externas nos percentis 99, 97,5 e 95, e foram adotados os limites indicados pela ANSI/ASHRAE Standard 55. Posteriormente, para cada percentil, foram gerados mapas com os valores de NITRR obtidos e recomendados para o Estado do Paraná.

2.4. Produção dos mapas das amplitudes térmicas diárias e dos níveis de inércia térmica recomendados para o estado do Paraná

O mapeamento utilizou dados das 49 estações meteorológicas previamente descritas e apresentadas (**Tabela 2**). Após o cálculo das amplitudes térmicas diárias e dos níveis de inércia térmica relativo recomendados (NITRR) para cada localidade, inclusive municípios externos ao Paraná, aplicou-se o método de interpolação geoestatística da krigagem ordinária (ou *ordinary kriging*) para visualizar a distribuição dos valores espacialmente. Esse procedimento permite observar a continuidade dos fenômenos no espaço, inclusive nas lacunas entre os pontos de amostragem (YAMAMOTO; LANDIM, 2015). Optou-se pela krigagem por ter apresentado bom desempenho em outros estudos comparativos envolvendo parâmetros de validação de modelos geoestatísticos e a variável temperatura (DOBESCH *et al.*, 2007; MENG *et al.*, 2013), e os softwares utilizados neste processo foram o *Golden Surfer* 13 (2015) e o QGIS 3.14 (2020). Para auxiliar na interpretação do relevo e das principais linhas orográficas do Estado do Paraná, adotou-se a proposta de Reinhard Maack (2017).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Amplitudes térmicas diárias de referência para projeto de edificações unifamiliares nas diferentes regiões do estado do Paraná

Com base nos procedimentos da investigação, aplicou-se o cálculo da amplitude térmica diária nos diferentes percentis para todas as estações meteorológicas da pesquisa, com destaque para as localizadas em municípios paranaenses (**Tabela 3**). A maior amplitude térmica diária observada no Estado do Paraná ocorreu em Castro (28,7 °C), localizado no Primeiro Planalto Paranaense. O menor dos valores máximos foi observado em Ibaiti (18,5 °C), localizado no Segundo Planalto. Curitiba apresentou ΔT_d máx de 22,4 °C. No percentil 99 das amplitudes térmicas diárias, o menor valor ocorreu na Ilha do Mel (14 °C), na Baía de Paranaguá (litoral do Paraná). O maior valor ocorreu em General Carneiro (23,6 °C), no extremo sul, região do Terceiro Planalto. O valor observado neste percentil em General Carneiro é 68,8 % maior do que o observado na Ilha do Mel, apontando para a necessidade de estratégias projetuais diferentes de um lugar para o outro, para o conforto térmico em ambientes internos. Neste percentil, Curitiba apresentou o valor 18,7 °C.

Dentre os 29 municípios pertencentes ao Paraná, cabe destacar os valores registrados para a amplitude térmica diária máxima (22,4 °C) e para o percentil 99 (18,7 °C) em Curitiba, capital que foi considerada a mais fria do Brasil (KRÜGER *et al.*, 2004) e cidade de referência para a Zona Bioclimática 1, na NBR 15220 (ABNT, 2005a). Embora sejam valores relativamente altos, ainda assim são superados por várias outras estações próximas e localizadas na área de estudo. Dessa forma, no caso da variável amplitude térmica diária, não cabe somente ao clima de Curitiba, posto climático

de referência para análises de desempenho térmico em condições extremas no Brasil, o papel de representar a diversidade térmica da região subtropical do país e nem como parâmetro a ser adotado em todos os projetos no entorno regional.

Tabela 3: Amplitudes térmicas diárias máximas e nos percentis 99,5, 99, 97,5 e 95

Município	ΔT_d máx	99,5	99	97,5	95
1 Campo Mourão	23,80	21,20	20,40	18,90	17,80
2 Curitiba	22,40	19,90	18,70	17,20	16,10
3 Irati	26,10	21,05	20,20	19,00	17,80
4 Ivaí	23,30	20,58	19,80	18,71	17,70
5 Londrina	22,40	19,80	19,20	18,20	17,40
7 Maringa	20,00	17,20	16,50	15,50	14,70
7 Paranagua	21,00	16,30	14,72	13,20	11,90
8 Lapa	20,90	18,83	17,83	16,80	15,70
9 Palmas	21,80	20,11	19,01	17,68	16,40
10 Paranavaí	21,80	17,20	16,60	15,40	14,52
11 Pato Branco	18,60	17,33	16,74	15,80	15,00
12 Castro	28,70	23,59	22,58	21,10	19,60
13 Ilha do Mel	19,95	15,37	14,00	12,26	10,82
14 Nova Fátima	19,95	17,00	16,50	15,50	14,70
15 Palotina	20,20	18,45	17,73	15,16	14,37
16 Terra Rica	21,30	17,69	16,88	15,35	14,60
17 Clevelândia	20,70	18,20	17,20	16,22	15,50
18 Diamante do Norte	20,80	17,70	17,11	16,40	15,60
19 Foz do Iguaçu	22,70	20,40	19,50	18,70	17,60
20 General Carneiro	26,10	24,41	23,63	22,40	21,00
21 Ibaiti	18,50	16,80	16,50	15,65	14,80
22 Icaraíma	24,30	17,00	16,36	15,50	14,60
23 Inácio Martins	25,12	16,94	16,30	15,10	14,10
24 Iretama	19,80	18,06	17,20	16,30	15,40
25 Joaquim Távora	24,30	22,40	21,70	20,20	18,80
26 Marechal Cândido Rondon	24,20	20,00	19,00	18,00	17,00
27 Morretes	21,10	19,40	18,30	16,50	15,10
28 Paranapoema	24,10	21,70	21,00	19,50	18,30
29 Planalto	20,70	18,58	18,10	17,19	16,37

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

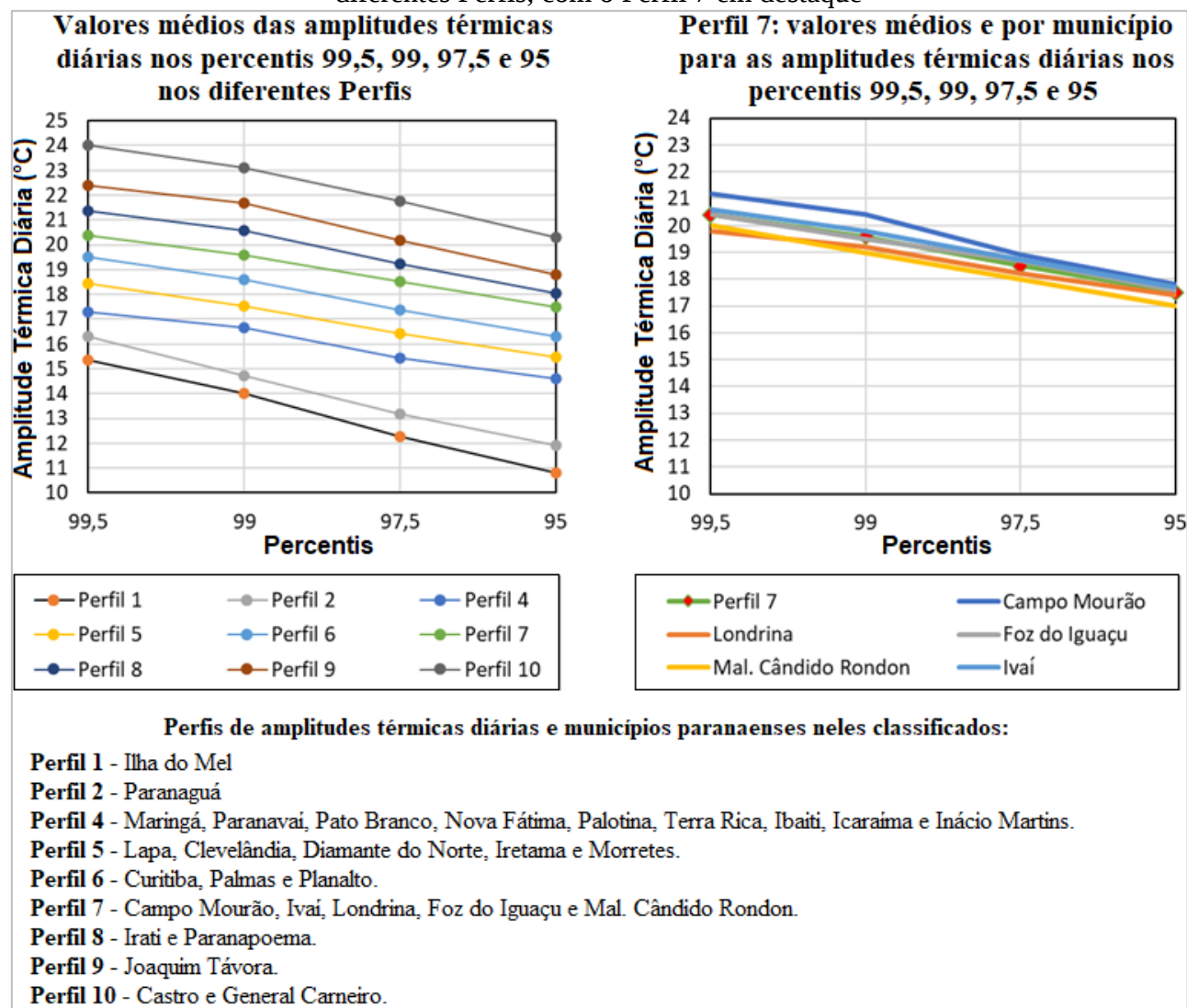
3.1.1. Classificação das amplitudes e definição de perfis de referência para projeto

A análise das amplitudes térmicas diárias dos municípios permitiu agrupá-los em perfis, estabelecidos em função de suas semelhanças. A **Figura 2** apresenta (à esquerda) os valores das amplitudes nos percentis 99,5, 99, 97,5 e 95 para todos os 29 municípios inseridos no Paraná, sendo que nenhum município foi classificado como do Perfil 3. A título de exemplo, a mesma figura apresenta (à direita) os valores das amplitudes nos percentis 99,5, 99, 97,5 e 95 dos municípios classificados no Perfil 7 (Campo Mourão, Foz do Iguaçu, Ivaí, Londrina e Marechal Cândido Rondon). Ademais, também é possível visualizar a lista de municípios (com dados disponíveis) classificados para cada tipo de perfil identificado.

Novamente, chama atenção o fato de Curitiba ocupar um perfil intermediário, o Perfil 6. As amplitudes da Ilha do Mel se destacam por seus valores relativamente baixos em todos os percentis. O perfil com o maior número de municípios para os quais se dispunha de dados é o Perfil 4, também com amplitudes relativamente baixas. Cabe observar que Morretes, localizado próximo ao litoral e

em altitude baixa, apresenta um perfil de amplitudes semelhante ao de municípios localizados no interior do estado, em altitudes maiores e com temperaturas médias diferentes das verificadas próximo ao litoral. Por fim, cabe destaque aos municípios dos perfis 9 (Joaquim Távora) e 10 (Castro e General Carneiro), que apresentam os regimes de amplitudes térmicas diárias mais rigorosos no Estado do Paraná, se comparados aos demais setores da área de estudo.

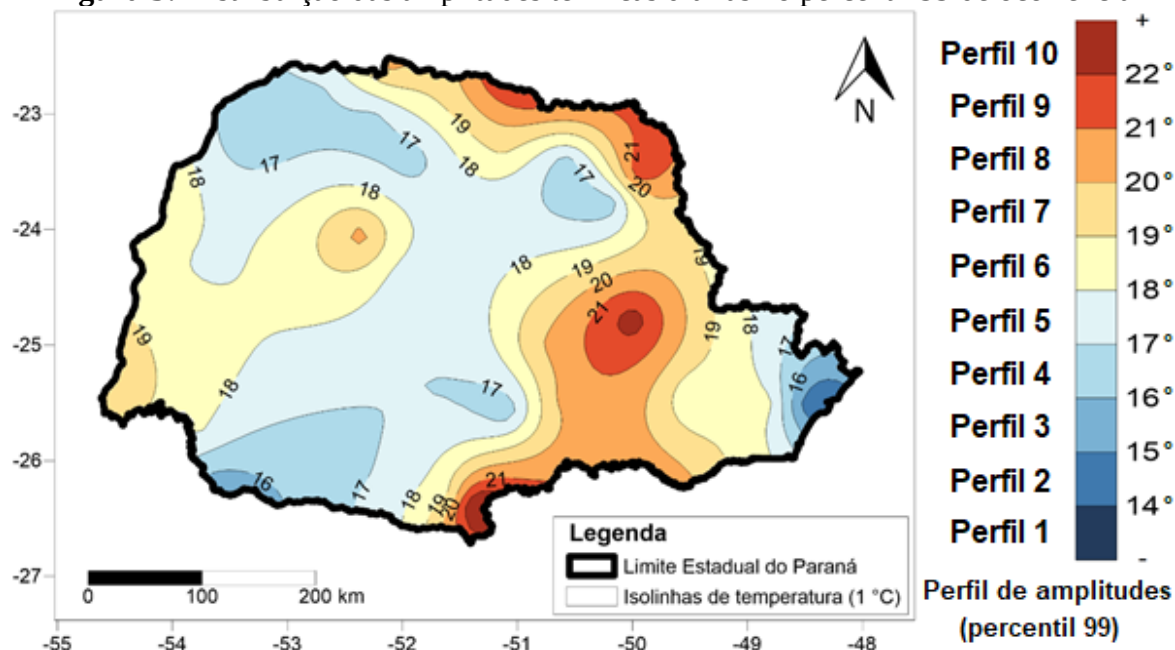
Figura 2: Valores médios das amplitudes térmicas diárias nos percentis 99,5, 99, 97,5 e 95 nos diferentes Perfis, com o Perfil 7 em destaque



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Tendo em vista a distribuição espacial destas amplitudes, a **Figura 3** apresenta a plotagem das amplitudes térmicas diárias no percentil 99 de ocorrência e nos 10 perfis com cores representativas, possibilitando estimar valores para qualquer coordenada no Estado. Os maiores valores foram observados ao longo do Segundo Planalto (mesorregião Centro-Oriental) e em setores próximos. A maior parte das áreas do interior do Paraná, situadas no Terceiro Planalto, apresentam amplitudes térmicas diárias com valores menos heterogêneos. No litoral, como já era esperado devido às condições de maior umidade e proximidade com o oceano, as amplitudes tiveram um predomínio de valores mais baixos, com amplo destaque para a Ilha do Mel.

Figura 3: Distribuição das amplitudes térmicas diárias no percentil 99 de ocorrência



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

3.2. Níveis de Inércia Térmica Relativos Recomendados (NITRR) para edificações unifamiliares nos diferentes climas do estado do Paraná

A partir das amplitudes térmicas diárias externas e das amplitudes térmicas máximas para o interior de edificações naturalmente condicionadas (7 °C para as faixas de aceitabilidade térmica contemplando 80 % da população e 5 °C para a faixa contemplando 90 % da população) propostas pela norma ANSI/ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017), foi possível calcular os níveis de inércia térmica relativos recomendados (NITRR) para as diferentes regiões do Paraná.

3.2.1. NITRR considerando a amplitude térmica diária máxima interna de 5 °C

Analisando os NITRR para os 10 perfis médios de amplitudes térmicas diárias (**Tabela 4**), percebe-se que, em um mesmo percentil, os NITRR aumentam de um perfil para o outro. Por exemplo, no Perfil 10 e percentil 99, o NITRR é 100 % maior que o NITRR demandado no Perfil 1. Nesse caso, edificações residenciais localizadas na região com amplitudes compatíveis com o Perfil 1 (Litoral) demandarão bem menos massa e isolamento térmico para propiciar aos moradores amplitudes térmicas diárias internas dentro da faixa recomendada do que é necessário nas regiões com amplitudes compatíveis com o Perfil 10 (mesorregião Centro-Oriental e proximidades).

A **Tabela 4** apresenta os NITRR médios considerando a amplitude térmica diária interna máxima de 5 °C em cada um dos perfis de amplitudes térmicas diárias. A demanda por inércia varia consideravelmente, tanto de um perfil para o outro, como de um percentil para o outro. Embora se recomende que o projetista adote os valores referentes ao percentil 99, a depender do nível de desempenho térmico esperado da edificação em projeto, pode-se adotar os valores de referência relativos a outros percentis.

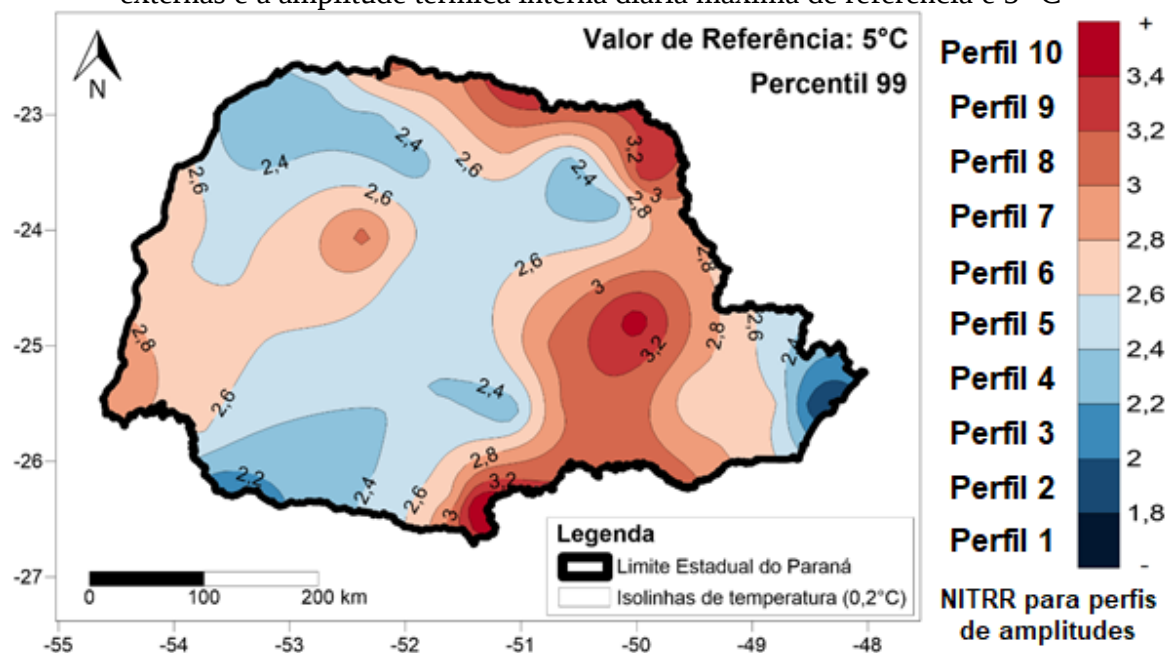
Em nível espacial, a plotagem dos NITRR no percentil 99 de amplitudes sob a forma de mapa (**Figura 4**) permite observar a variação na demanda por inércia de uma região para a outra do Paraná. Grandes áreas das mesorregiões Noroeste, Norte Central e Centro-Sul do Estado demandam NITRR semelhantes, próximos de 2,5, enquanto ocorre mais variação do Litoral à porção Centro-Oriental (Segundo Planalto), no sentido Leste-Oeste, envolvendo a Região Metropolitana de Curitiba.

Tabela 4: NITRR médios considerando a amplitude térmica diária interna máxima de 5 °C, para as localidades com dados disponíveis

Perfis de Amplitudes (NITRR)	Percentil 99,5	Percentil 99	Percentil 97,5	Percentil 95
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 1	2,07	1,80	1,45	1,16
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 2	2,26	1,94	1,64	1,38
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 3	-	-	-	-
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 4	2,46	2,34	2,09	1,92
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 5	2,69	2,51	2,29	2,09
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 6	2,91	2,72	2,47	2,26
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 7	3,08	2,92	2,70	2,50
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 8	3,27	3,12	2,85	2,61
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 9	3,48	3,34	3,04	2,76
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 10	3,80	3,62	3,35	3,06

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Figura 4: Níveis de Inércia Térmica Relativos Recomendados (NITRR) para edificações unifamiliares nas diferentes regiões do Paraná quando considerado o percentil 99 de amplitudes externas e a amplitude térmica interna diária máxima de referência é 5 °C



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

3.2.2. NITRR considerando a amplitude térmica diária máxima interna de 7 °C

Quando tolerado uma maior oscilação das temperaturas internas da edificação, adotando-se a amplitude térmica diária interna máxima de 7 °C (**Tabela 5**), os NITRR são reduzidos consideravelmente em comparação com os valores apresentados na tabela. Aceitar maior oscilação nas temperaturas internas resulta em menor demanda por isolamento e massa térmica, embora em alguns casos possa resultar em um pouco menos de conforto térmico para o ser humano.

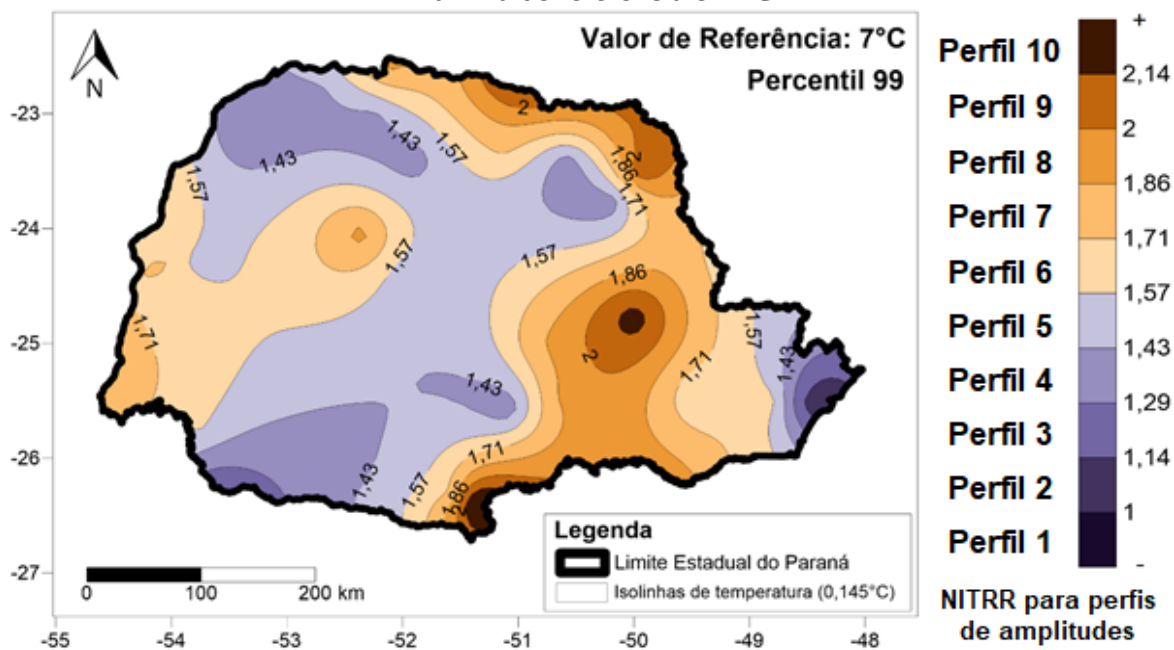
Quando adotada a variação de temperatura máxima diária (ΔT_d máx) recomendada para o ambiente interno de 7 °C, a distribuição espacial (**Figura 5**) dos NITRR no território paranaense mostrou maior homogeneidade do que quando adotado o limite de 5 °C. Nesse caso, os resultados evidenciam que NITRR próximos de 1,5 são suficientes para estabilizar as amplitudes térmicas diárias internas das edificações na maior parte do estado.

Tabela 5: NITRR médios considerando a amplitude térmica diária interna máxima de 5 °C, para as localidades com dados disponíveis

Perfis de Amplitudes (NITRR)	Percentil 99,5	Percentil 99	Percentil 97,5	Percentil 95
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 1	1,20	1,00	0,75	0,55
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 2	1,33	1,10	0,89	0,70
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 3	-	-	-	-
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 4	1,47	1,38	1,21	1,09
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 5	1,63	1,50	1,35	1,21
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 6	1,79	1,66	1,48	1,33
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 7	1,91	1,80	1,64	1,50
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 8	2,05	1,94	1,75	1,58
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 9	2,20	2,10	1,89	1,69
NITRR médios para o Perfil de amplitudes 10	2,43	2,30	2,11	1,90

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

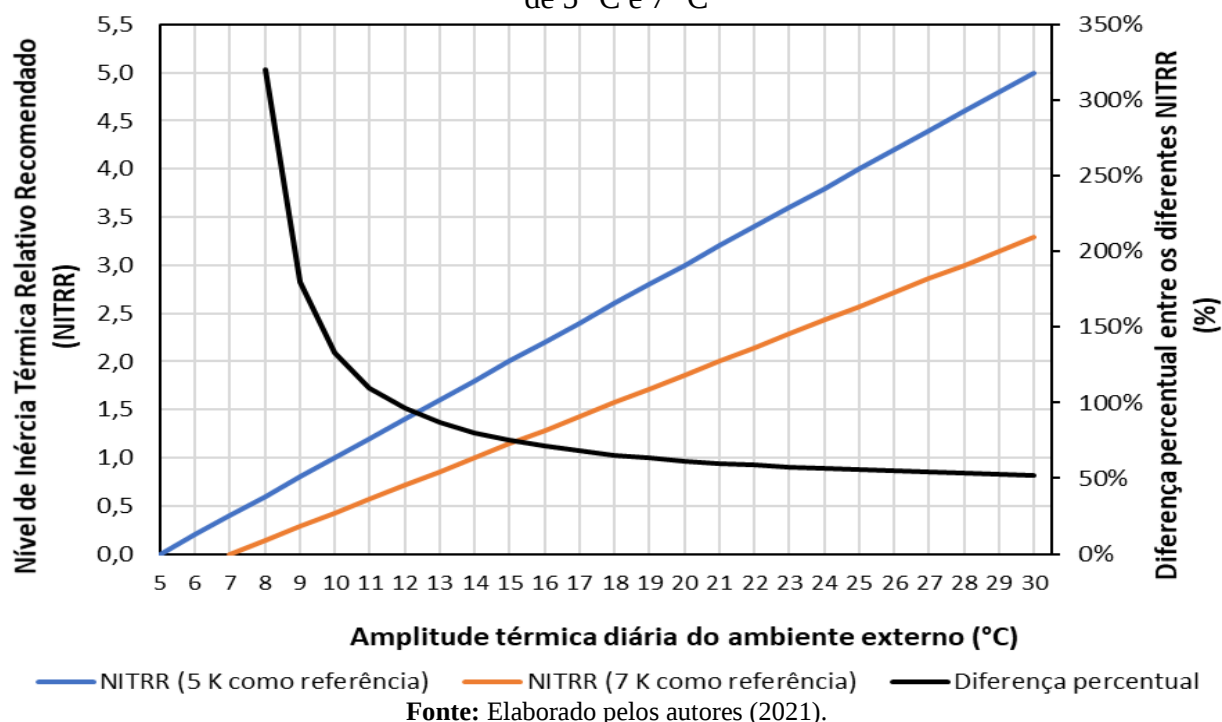
Figura 5: Níveis de Inércia Térmica Relativos Recomendados (NITRR) para edificações unifamiliares nas diferentes regiões do estado do Paraná quando a amplitude térmica interna diária máxima de referência é 7 °C



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Tendo como base os resultados obtidos nessa investigação, e a título de comparação, a **Figura 6** apresenta a relação entre os NITRR, utilizando 5 °C e 7 °C como ΔT_d interna máxima recomendada, em diferentes amplitudes térmicas diárias externas. Quando as amplitudes térmicas no ambiente externo são menores do que 15 °C, os NITRR indicados utilizando 5 °C como amplitude térmica interna máxima recomendada são muito maiores do que se utilizando 7 °C. A partir daí, a diferença entre os NITRR tende a se estabilizar em torno de 50 %. Isso significa que quando adotada a faixa com aceitabilidade para 80 % da população, com maior tolerância à flutuação das temperaturas internas do ar (ΔT_d interna máxima recomendada de 7 °C), os níveis de inércia térmica recomendados serão significativamente menores, possibilitando importante redução no uso de massa térmica e isolamento térmico, gastando menos recursos e gerando menos resíduos para uma construção adequada e com tendência a um menor consumo energético.

Figura 6: Gráfico comparativo entre os NITRR quando com amplitudes térmicas internas máximas de 5 °C e 7 °C



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo verificar as amplitudes térmicas diárias do Estado do Paraná e os respectivos Níveis de Inércia Térmica Relativos Recomendados (NITRR), a fim de produzir subsídios para projetos de habitações com baixo consumo energético. Os resultados e produtos desse estudo tem potencial para orientar esse tipo de atividade, bem como diferenciar alguns setores do Estado em nível espacial, visando projetar corretamente o ambiente térmico das edificações e contribuir para o conforto térmico da população paranaense, evitando assim gastos de recursos desnecessários, além de gerar nesse processo o mínimo de resíduos possíveis. Embora algumas áreas do Estado não tenham apresentado uma boa cobertura de dados, a utilização de estações meteorológicas de estados vizinhos ajudou a minimizar essas lacunas por meio da interpolação geoestatística. Ademais, os dados mostraram que a distribuição das amplitudes térmicas diárias no Paraná não é uniforme e as diferenças de uma região para a outra são expressivas, justificando a necessidade de um maior aprofundamento no tema e realização de análises específicas.

Tomando como base as amplitudes térmicas diárias dos períodos mais rigorosos, nos percentis 99,5, 99, 97,5 e 95, foi possível agrupar as localidades em diferentes perfis de amplitudes. Os dados da estação meteorológica de Curitiba colocam a região em um perfil de amplitudes térmicas diárias intermediário, o que chama atenção, pois o município é tido como local de ocorrência de altas amplitudes térmicas diárias. O perfil de amplitudes da Ilha do Mel (e o litoral em geral) se destacou por seus valores relativamente baixos em todos os percentis. O perfil que contemplou o maior número de municípios foi o Perfil 4, também com amplitudes relativamente baixas. Coube destaque aos municípios dos perfis 9 (Joaquim Távora) e 10 (Castro e General Carneiro) que, entre aqueles analisados, apresentam os regimes de amplitudes térmicas diárias mais rigorosos no Estado do Paraná. A grande diferença entre os valores observados ilustra muito bem a diversidade de contextos geográficos e climáticos na região.

No tocante aos meses em que sucederam as amplitudes térmicas mais altas nos diferentes locais analisados, foi observada certa semelhança entre as áreas de ocorrência no Estado. Em função

das diferenças entre as amplitudes térmicas diárias das diferentes regiões, os Níveis de Inércia Térmica Relativa Recomendada (NITRR) também variam, com diferenças que chegam a mais do que 100% entre as áreas com amplitudes classificadas como de Perfil 1 e as classificadas como de Perfil 10. Tal diferença indica necessidade de características distintas entre as construções para fins habitacionais de uma região para outra.

Por fim, quando comparados os NITRR, determinados pelas amplitudes térmicas diárias máximas para o interior de edificações (5 °C para a faixa de aceitabilidade térmica contemplando 90 % da população e 7 °C para a faixa contemplando 80 % da população) indicados pela norma ANSI/ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017), também foram observadas diferenças importantes, maiores do que 50 %. Nesse cenário, a adoção de uma ou outra amplitude térmica máxima para o interior das edificações traz consigo importantes implicações em se tratando das características da edificação (tais como isolamento térmico, massa térmica, dimensões das aberturas, sombreamento e compactidade). Tal questão poderá ser discutida e aprofundada em breve, visando melhores condições das edificações e conforto aos habitantes.

Para dar sequência a esta pesquisa, em estudos futuros, pretende-se determinar um projeto padrão de edificação e simular essa edificação nos climas e municípios de referência nos nove Perfis de amplitudes térmicas do Estado do Paraná, a fim de determinar quais sistemas construtivos são adequados para cada Perfil de amplitudes. Também para uma edificação padrão, pretende-se dimensionar a redução no consumo energético e nos custos para construção quando adotada tolerância de 7 °C para as amplitudes térmicas diárias ao invés de 5 °C. Ainda, espera-se aprofundar, com base nos aspectos bioclimáticos, ambientais e humanos, no conforto térmico ideal (e no zoneamento) para a maior parcela da população paranaense.

REFERÊNCIAS

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

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT/CB-055. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT / Comitê de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento - CB-55. **3º Projeto Revisão ABNT NBR 16401-2**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONCALVES, J. L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.l.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARMELIN, J. L.; OLIVEIRA, S. M.; PINTO, L.F.M., FURNAS, G. S.; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de métodos de avaliação de transferência de calor em materiais e componentes de edificações - Caixa Quente**. Florianópolis: FURNAS & UFSC, 2004.

ASHRAE. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**. ASHRAE Handbook: Fundamentals. Atlanta, 2009.

ASHRAE. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**. ASHRAE Standard 55-2017 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2017.

AULICIEMS, A. Psycho-Physiological criteria for global thermal zones of building design. **International Journal of Biometeorology**, [S.l.], v. 26, p. 69–86, 1981.

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

BOGO, A.; PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; GOULART, S.; PITTA, T.; LAMBERTS, R. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Relatório Interno - 02/94. Florianópolis: UFSC, 1994.

CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R.; DE DEAR, R.; BITTENCOURT, L.; DE VECCHI, R. Towards a Brazilian standard for naturally ventilated buildings: guidelines for thermal and air movement acceptability. **Building Research & Inform.**, [S.l.], v. 39, n. 2, p. 145-153, 2011.

CARDOSO, G. T.; VECCHIA, F. Influence of global solar radiation on indoor environment: experimental study of internal temperature distribution in two test cells with different roof systems. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, [S.l.], v. 9, p. 28-37, 2015.

CEN. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 15251 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics**. Brussels: CEN, 2007.

CESAR, T.; ALVES, P.; AKUTSU, M. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Engenharia Civil**, [S.l.], v. 58, n. 2, p. 133–138, 2005.

DEWSBURY, M.; FAY, R.; NOLAN, G. **Thermal performance of light-weight timber test buildings**. In: WORLD CONGRESS OF TIMBER ENGINEERING, 10., Miyazaki, 2008, Proceedings [...]. Miyazaki, Japan: EWPA, 2008.

DINIZ, F. A.; RAMOS, A. M.; REBELLO, E. R. G. **Normais Climatológicas do Brasil, Período 1981-2010**. Brasília: INMET, 2014.

DOBESCH, H.; DUMOLARD, P.; DYRAS, I. (Ed.). **Spatial interpolation for climate data: the use of GIS in climatology and meteorology**. John Wiley & Sons, 2007.

DORNELLES, K. A. **Estudo de casos sobre a inércia térmica de edificações na cidade de São Carlos**. 2004. 150 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Nota Técnica EPE 030/2018 - **Uso de ar condicionado no setor residencial brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**. Rio de Janeiro: EPE, 2018.

EVANS, J. M. Evaluating comfort with varying temperatures: a graphic design tool. **Energy and Buildings**, [S.l.], v. 35, n. 1, p. 87-93, 2003.

EVANS, J. M. **The comfort triangles: a new tool for biocliatc desgin**. 2007. Thesis - Technische Universiteit Delft, 2007.

FERNANDES, L. C. Diagramas de apoio ao projeto baseados na ideia do conforto térmico adaptativo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. e020030.10, 2020.

FIALHO, E. S.; FERNANDES, L. A.; CORREA, W. S. C. Climatologia urbana: conceitos, metodologias e técnicas. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], Edição Especial – XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, n. 15, p. 47-85, 15 jun. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v0i0.65748>.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. 2 ed: Applied Science Publishers Ltd., 1976.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and buildings**, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. John Wiley & Sons, 1998.

GOBO, J. P. A.; FARIA, M. R.; GALVANI, E.; AMORIM, M. C. C. T.; CELUPPI, M. C.; WOLLMANN, C. A. Empirical Model of Thermal Comfort for Medium-Sized Cities in Subtropical Climate. **Atmosphere**, [S.l.], v. 10, n. 10, p. 576, sep. 2019.

GOLDEN. **Surfer**. Versão: 13. Golden Software, LLC, 2015.

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2 ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

GRIGOLETTI, G. C.; FLORES, M. G.; DOS SANTOS, J. C. P. Tratamento de dados climáticos de Santa Maria, RS, para análise de desempenho térmico de edificações. **Ambiente Construído**, [S.l.], v. 16, n. 1, p. 123-141, 2016.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Características gerais dos domicílios e dos moradores 2019 - PNAD Contínua**. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

-
INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros**. Anexo da Portaria Inmetro N° 50/2013. Brasília: INMETRO, 2013.

KRÜGER, E. L.; RODRIGUES, E. L.; KOBAY, G. F.; CERRI, J. A.; NAKAMURA, M. O uso de protótipos experimentais de baixo custo para avaliação de materiais de vedações quanto ao seu desempenho térmico. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2004, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ANTAC, 2004.

MA, G.; HOFFMANN, A. A.; MA, C-S. Daily temperature extremes play an important role in predicting thermal effects. **Journal of Experimental Biology**, [S.l.], v. 218, n. 14, p. 2289-2296, jul. 2015.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 4ª edição. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2017.

MCGREGOR, G. R. **Human biometeorology**. Progress in Physic. Geog., [S.l.], v. 36, n. 1, p. 93-109, 2012.

MENG, Q.; LIU, Z.; BORDERS, B. E. Assessment of regression kriging for spatial interpolation—comparisons of seven GIS interpolation methods. **Cartography and Geographic Information Science**, [S.l.], v. 40, n. 1, p. 28-39, jan. 2013.

MIRANDA, E. E. (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 19 mar. 2013.

MORE. **Mecanismo online para referências, versão 2.0**. Florianópolis: UFSC: Rexlab, 2013. Disponível em: <http://www.more.ufsc.br/>. Acesso em: 06 abr. 2022.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, [S.l.], v. 34, n. 6, p. 563-572, jul. 2002.

NITSCHKE, P. R.; CARAMONI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019.

PAPST, A. L. **Uso de inércia térmica no clima subtropical: estudo de caso em Florianópolis**. p. 180, 1999. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 1999.

QGIS. **QGIS**. Versão: 3.14. QGIS Development Team, 2020.

RENNÉ, D. S. **Resource assessment and site selection for solar heating and cooling systems**. In: *Advances in Solar Heating and Cooling*. Elsevier, 2016.

RUPP, R. F.; VÁSQUEZ, N. G.; LAMBERTS, R. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**, [S.l.], v. 105, p. 178-205, oct. 2015.

RUPP, R. F.; VECCHI, R.; ASMUS, B. F.; CANDIDO, C.; GHISI, E. Conforto térmico humano em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em clima subtropical úmido: estudos de campo vs. abordagem analítica. **Ambiente Construído**, [S.l.], v. 17, n. 1, p. 111-123, jan./mar. 2017.

SANT'ANNA NETO, J. L. O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 8, n.7, p. 45-60, jan./jun. 2011.

SATTLER, M. A. **Boletim Técnico 9: dias climáticos típicos para o projeto térmico de edificações em Porto Alegre**. Porto Alegre: CIENTEC, 1989.

SZOKOLAY, S. **Introduction to Architectura science: the basis of sustainable design**. 2. ed. Oxford: Elsevier Ltd., 2008.

VERBEKE, S.; AUDENAERT, A. Thermal inertia in buildings: a review of impacts across climate and building use. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.l.], v. 82, p. 2300-2318, feb. 2018.

WILCOX, S.; MARION, W. **User's manual for TMY3 data sets**. Golden: National Renewable Energy Laboratory, 2008.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da região sul do Brasil**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística**: conceitos e aplicações. São Paulo, 2015.



Informações sobre a Licença

Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

License Information

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which allows for unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, as long as the original work is properly cited.