XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Terraço Capixaba: Cobertura resiliente para climas quente-úmidos

Terraço Capixaba: Resilient roof for hot-humid climates.

Ariane Louzada Sasso-Ferrão
Universidade Federal do Espírito Santo| Vitória | Brasil | ariane.ferrao@edu.ufes.br | arq.ariane@gmail.com
Edna Aparecida Nico-Rodrigues
Universidade Federal do Espírito Santo| Vitória | Brasil | edna.rodrigues@ufes.br

Resumo
A pesquisa analisou dois diferentes tipos de cobertura em relação ao desempenho térmico, em região quente e úmida, sob estresse ocasionado pela ausência de ventilação, considerando a utilização do Terraço Capixaba (TC) como estratégia passiva para melhoria do desempenho térmico durante a vida útil (VU) de edifícios brasileiro. Por meio da metodologia de simulação computacional da NBR 15575/2021 foi possível perceber o TC como sistema eficiente e resiliente para o clima do estudo até meia VU, considerando a continuidade do processo de mudanças climáticas, e a dificuldade para edifícios alcançarem os níveis intermediário e superior em regiões com condição de ventilação desfavorável.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Desempenho termo-energético. Cobertura de pele dupla. Cobertura flutuante. Cobertura para ZB8.

Abstract

The research analyzed two different types of roofs and its thermal performance, in a hot-humid region, under stress caused by the absence of ventilation, considering the use of Terraço Capixaba (TC) as a passive strategy to improve thermal performance during its lifespan of Brazilian buildings. Through the computer simulation methodology of the NBR 15575/2021, it was possible to perceive the TC as an efficient and resilient system for the climate of the study up to half VU, considering the continuity of the climate change process, and the difficulty for buildings to reach the intermediate and superior levels in regions with unfavorable ventilation condition.

Keywords: Climate change. Thermo-energetic performance. Double skin roof. Floating roof. Bioclimatic zone 8 roof.

INTRODUÇÃO

Os impactos das mudanças climáticas são discutidos desde de 1960 [1], e a partir de 1980 foram ampliados os estudos na temática [2]. Em 2018 a NASA apontou que a

Como citar:
SASSO-FERRÃO, Ariane L.; NICO-RODRIGUES, Edna A. Terraço Capixaba: Cobertura resiliente para climas quente-úmidos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

temperatura foi 0,83°C mais alta do que a média do período de 1951 a 1980, e os cinco anos seguintes foram os mais quentes do registro moderno [3]. O aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, provenientes de atividades antrópicas, será considerado fator inequívoco responsável pelas mudanças no clima, a partir do *Sixth Assessment Reports* do *Intergovenmental Panel on Climate Change* (AR6) [4].

O relacionamento circular entre produção de energia, emissão de GEE, mudanças climáticas [5]; e a grande demanda energética do setor da construção civil lhe conferem papel de destaque [6].

Na Europa, que objetiva reduzir até 90% dos GEE até 2050, os códigos de edificações nacionais têm incorporado as diretrizes da *Energy Performance of Building Directive* [6] com incorporação de características passivas e ativas de projetos arquitetônicos. E a adequação dos projetos arquitetônicos a normas como a *Passivhaus* tem apresentado resultados importantes [6].

A escolha adequada de componentes representa a capacidade da edificação de reduzir o ganho de calor, sobretudo através da cobertura, uma das principais responsáveis pelos ganhos de calor em edificações de menor porte, ou térreas [7]. Em climas quentes as coberturas possuem a função de escudo contra a radiação solar direta, haja vista sua função de fechamento superior da edificação, cujas superfícies devem refletir parte da radiação solar incidente, impedindo que a superfície interna se transforme em fonte de calor indesejável [8].

Considerando a edificação um ecossistema, sua capacidade de absorver mudanças de variáveis do clima após uma perturbação, por exemplo, pode ser entendida como resiliência, conceito discutido e utilizado em ampla gama de contextos em diversas áreas do conhecimento [9].

No estado do Espírito Santo é possível observar a presença dos Terraços Capixabas (TC), como solução popular de sistema de cobertura (SC) [10] de pele dupla normalmente composta por laje de concreto armado, recinto amplamente aberto à ventilação, com pé-direito habitável, e telhamento cerâmico, ou metálico (Figura1). Encontram-se citações no livro Arquitetura Brasil 500 Anos-2, de Roberto de Montezuma, 2008, ou em análises sobre morfologia urbana como nos estudos de Mendonça, França e Maciel, 2015, em que os TC surgem como solução em último pavimento para funções diversas como áreas de serviço, ou de lazer [11].

Figura 1: Conjunto de imagens com diferentes exemplos de TC.



Fonte: os autores e Google Maps.

OBJETIVO

O Objetivo da pesquisa foi levantar os tipos mais frequentes de coberturas e analisar as respostas para desempenho térmico das mais recorrentes em região quente e úmida, sob estresse climático ocasionado pela ausência de ventilação, nos cenários atual (2020 - histórico) e futuros (2050 e 2080) de altas emissões de GEE (AEGEE); e a resistência às mudanças climáticas do Terraço Capixaba, uma estratégia passiva para melhoria do desempenho térmico (DT), ao longo da vida útil (VU) prevista para edifícios brasileiro, e a resiliência de edifícios com TC diante das mudanças climáticas no recorte amostral.

METODOLOGIA

Foram realizadas 5 etapas no estudo: **Etapa 1** caracterização da área de estudo; **etapa 2** observação e identificação da ocorrência das tipologias de coberturas na área do recorte amostral; **etapa 3** definições das dimensões de aberturas e propriedades térmicas; **etapa 4** avaliações termo-energética por meio da metodologia de simulação computacional da NBR 15575/2021 com arquivo climático atual (2020 – registro histórico); **etapa 5** avaliações dos modelos em cenários de AEGEE (*slicetimes* 2050 e 2080).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CLIMA

Não obstante as diversas configurações climáticas do estado do Espírito Santo em Zona Bioclimática 8 (ZB8), algumas com potencial para aproveitamento das condições de vento, a região Sul congrega cidades com combinações de clima e relevo mais desafiadoras: Castelo e Alegre encontram-se em vales da cadeia do Caparaó, e localizadas a baixa altitude, no limite entre as zonas bioclimáticas (ZB5 e ZB8) contidas no estado.

A morfologia da região apresenta todas as características do domínio morfológico dos Mares de Morros Florestados [12], as quais ocasionam, além da redução da velocidade dos ventos por alta rugosidade do relevo, o não estabelecimento de predominância de ventos por ocasião dos obstáculos e dos retornos em anteparos, ocasionando o surgimento de térmicas locais no período mais quente do dia.

Os dados climáticos horários de referência apontam 1.216 h/ano com temperaturas de bulbo seco (TBS) acima de 28,9 °C; e 3.315 h/ano com temperaturas acima de 23,5 °C, com médias de umidade relativa abaixo de 70% apenas em quatro meses do ano.

A média de velocidade de ventos mais alta ocorre entre 15 e 16 h alcançando 3,5 m/s, enquanto nos horários da madrugada não ultrapassa 1 m/s, com ventos predominantes de direção Leste, seguidos dos de direção Nordeste.

A escolha da área se justifica pela proximidade da condição de calmaria do clima da região, não prevista pela metodologia de avaliação de DT 2021 de edifícios brasileiros, e a importância da ventilação na melhoria da condição de conforto dos ambientes construídos e na redução do estresse térmico ocasionado por calor.

Quanto ao clima futuro, o trabalho considera na análise o cenário com projeções do modelo HadCM3, com cenário de emissões A2, substituído no *Fifth Assessment Report*

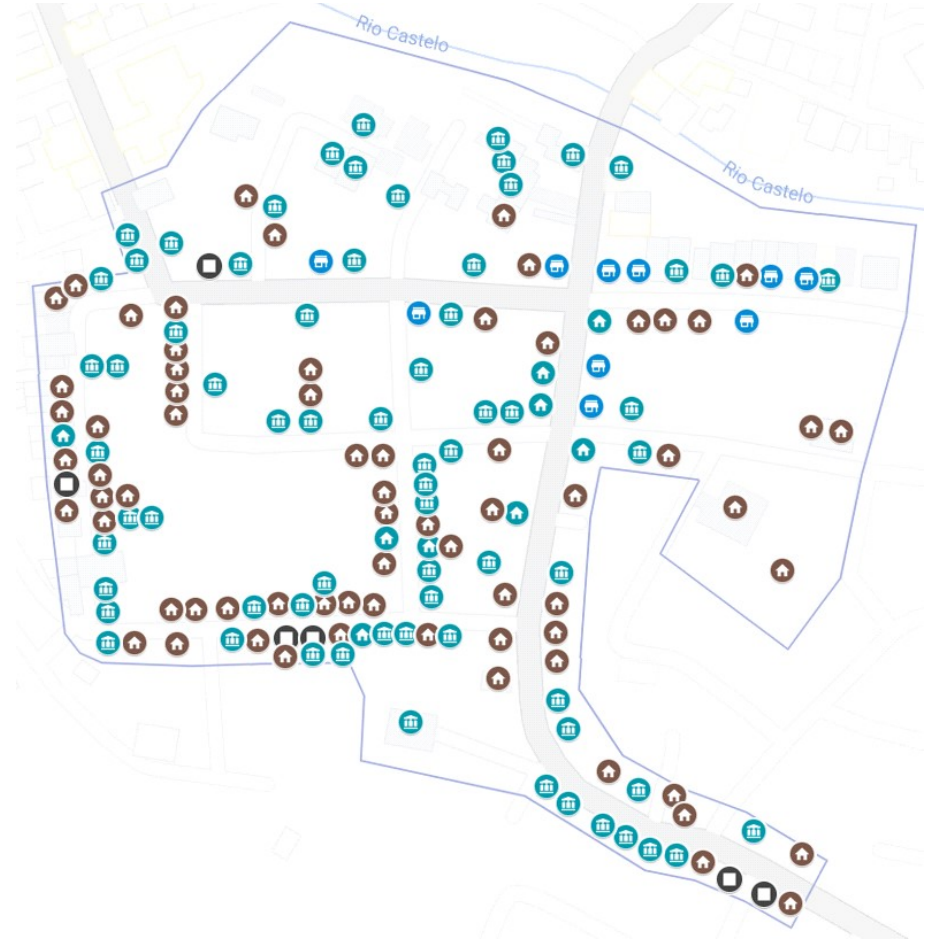
(AR5) pela denominação RCPs - *Representative Concentration Pathways* 8.5 (RCP8.5) [5][13][14].

LEVANTAMENTO

O levantamento dos Sistemas de Cobertura (SC) foi realizado por meio de observação acompanhada por mapas e registro fotográfico em um dos bairros mais caracterizados pelo uso do TC na cidade de Castelo. Foram definidas como habitações de interesse para o estudo: 1) edificações individualizadas e exclusivas em lote; 2) mais de uma edificação, não conjugada, em mesmo lote, completamente independentes em acesso e em liberdade de intervenção por parte dos proprietários, contendo sistema de cobertura caracterizado por contato direto com o ambiente externo; 3) mais de uma edificação, conjugadas, em mesmo lote, completamente independentes em acesso e em liberdade de intervenção por parte dos proprietários, contendo sistema de cobertura caracterizado por contato direto com o ambiente externo.

Foram observadas 162 unidades habitacionais (UH) no Bairro de Vila Isabel, com caracterização do SC de interesse para a pesquisa (Figura 2).

Figura 2: Levantamento dos tipos de cobertura.



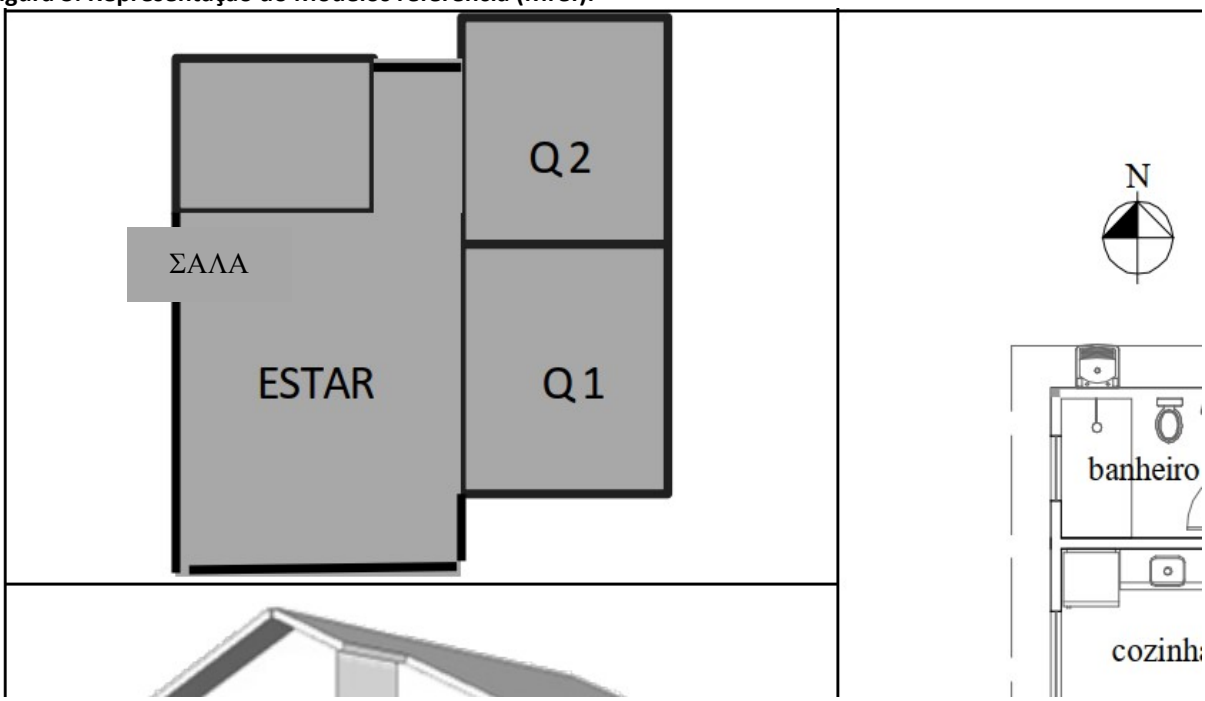
Legenda: Unidade habitacional unifamiliar (UHU) com cobertura de telhas visíveis; UHU com coberturas de telhas visíveis, com ático ventilado por meio de aberturas; UHU com cobertura ventilada por meio de TC; UHU com cobertura encoberta por platibandas; UHU com laje de concreto. Fonte: os autores a partir de Google My Maps, 2021.

Observou-se que 42,59% das UHU possuíam SC de telhas visíveis, majoritariamente do tipo cerâmico, e 41,92% com SC do tipo TC com telhas de fibrocimento ou metálica, prevalecendo telhas metálicas nos terraços mais atuais. O levantamento definiu os dois modelos de cobertura a serem investigados, sendo um a base para o modelo de referência, e o outro a estratégia de adaptação TC.

MODELAGEM

Para a geometria do modelo de referência da UH foi utilizada adaptação do modelo estudado por Triana, 2016 [15]. A UH é composta por três ambientes de permanência prolongada (APP): Estar e cozinha (Sala) com 19,97 m², Quarto 1 (Q1) com 8,10 m² e Quarto 2 (Q2) com 7,56 m² (Figura 3). Para as áreas de aberturas considerou-se as indicações da NBR 15575/2021 de 17% ou 1/5,88 da área de piso dos APP, muito próximo de indicação das legislações municipais locais, de 1/6 das áreas de piso [16][17][18][19].

Figura 3: Representação do Modelos referência (Mref).

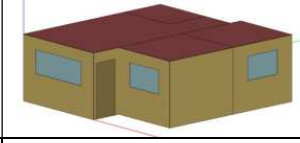
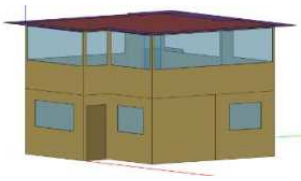


Fonte: TRIANA, 2016, [15].

A partir de Mref, gerou-se o modelo com área de ventilação em conformidade com a NBR 15575/2021 para ZB8 sudeste, e terraço, chamado modelo normativo com terraço (Mnor_T). O mesmo modelo foi analisado nos cenários dos *slicetimes* 50 (Mnor_T_50) e 80 (Mnor_T_80). Mref referenciou a comparação com Mnor_T, no cenário atual (2020), e Mnor_T_50 e Mnor_T_80 nos cenários de AEGEE.

As características de geometria e aberturas utilizadas para os modelos estão indicadas no Quadro 1. As propriedades térmicas adotadas para vedações externas, incluindo as dos componentes de janelas, são as mesmas em todos os modelos e acompanham as indicações para o Mref apresentado na metodologia da NBR 15575/2021, possuindo a característica de isolamento na cobertura conforme orientação normativa para ZB8.

Quadro 1: Modelos e propriedades térmicas do estudo

Modelo		Áreas de elementos transparentes	Áreas de Ventilação	Propriedades térmicas de SVVE	Propriedades térmicas de SC
Mref		17% da área do APP. (NBR 15575/2021)	7,65% da área do APP. (NBR 15575/2021)	Conforme NBR 15575/2021 – modelo de referência.	Conforme NBR 15575/2021 para ZB8
Mnor_T; Mnor_T_50; Mnor_T_80		20% da área do APP. (NBR 15575/2021)	8% da área do APP, conforme NBR 15575/2021.		Composição TC

Fonte: os autores.

A composição dos TC foi modelada com piso em laje de concreto armado de espessura 10 cm; recinto modelado como zona térmica com pé-direito de 2,50 m; cumeeira simulada para altura 70 cm em telhado de duas águas; telha trapezoidal de aço galvanizado, espessura 0,43 mm. As propriedades térmicas adotadas para os materiais que compuseram os modelos são as listadas nas NBR 15575-1/2021 ou 15220-2/2003 [20].

O recinto TC foi modelado como zona térmica, e as aberturas foram configuradas para permanecerem constantemente abertas em 100% dos vãos.

As características de absortância de ondas curtas para os modelos reais considerou as características mais frequentes encontradas por Sasso-Ferrão e Nico-Rodrigues, 2021 [9], adotando valores diferentes do modelo de referência, como previsto pelo método.

AVALIAÇÃO TERMO-ENERGÉTICA EM CENÁRIOS 2020, 2050 E 2080

A modelagem do edifício foi efetuada com OpenStudio e a avaliação termo-energética realizada no EnergyPlus 9.4.0. A ventilação natural simulada foi configurada conforme **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa energyplus – Versão 9.0.1** [21], assim como as características de solo, que seguiram o **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto *Ground Domain* no programa energyplus – versão 9.0.1** [22], configuração Xing, utilizando-se do EPW, atualização 2018, gerado a partir da WMO Station 868280, localizada na cidade de Alegre, uma vez que Castelo não possui arquivos climáticos.

As projeções futuras para mudanças climáticas foram calculadas pela ferramenta CCWorldWeatherGen [23], versão 1.9, desenvolvida conforme metodologia proposta por Jentsch et al. (2013) [24][25], que permite cálculos baseados no método "morphing", proposto por Belcher, Hacker e Powell (2005) [26].

Os indicadores normativos do procedimento consideram o percentual de horas de uso dos APP na FT (PHFTUH), e resultados de temperatura operativa máxima (Tomáx) para ZB8, para verificação de desempenho mínimo, e, para desempenhos intermediários e superior, observa-se o incremento do PHFTUH (ΔPHFTUH), a redução de cargas

térmicas (RedCgTT) nos APP. Além disso são consideradas as horas de uso, e comparadas as Tomáx do Mref e dos modelos reais.

As faixas de temperatura da análise foram obtidas a partir da média anual de TBS (TBSm) do arquivo climático, conforme o Quadro 2.

Quadro 2: Compêndio de tabelas da NBR 15575-1/2021 – Tabela 2, Tabela 3, Tabela 4

Tabela 2		**Tabela 3**		**Tabela 4**	
Intervalo de temperatura externa	Média anual da TBS (°C)	Intervalo de temperatura externa	FT a ser considerada na análise (°C)	Nível de desempenho	Critério
1	TBSm < 25,0	1	18,0 < ToAPP < 26,0	Mínimo (M)	PHFTUH,real > 0,9.PHFTUH,ref
2	25,0 ≤ TBSm < 27,0	2	ToAPP < 28,0	Intermediário (I)	ΔPHFT ≥ PHFTmín – Tabela 20
3	TBSm ≥ 27,0	3	ToAPP < 30,0	Superior (S)	ΔPHFT ≥ ΔPHFTmín – Tabela 21

Nota: ToAPP é a temperatura operativa do APP, que atende aos limites estabelecidos na Tabela 3 da NBR 15575-1/2021. Fonte: ABNT, 2021 [27].

ΔPHFT é o incremento do PHFTUH,real em relação ao PHFTUH,ref. ΔPHFTmín é o incremento mínimo do PHFTUH,real em relação ao PHFTUH,ref, com valor obtido pela Tabela 20 da NBR 15575-1/2021, para o nível intermediário, e pela Tabela 21 da NBR 15575-1/2021, para o nível superior. Fonte: ABNT, 2021 [27].

Com a TBSm em 23,95°C a avaliação em cenário atual 2020 foi realizada considerando o intervalo 1 da Tabela 2 da NBR 15575-1/2021 [27].

As tabelas 20 e 21 da NBR 15575-1/2021, (Figura 4) indicam respectivamente o ΔPHFT mínimo e a indicação da redução de carga térmica do modelo real (CgTTUH,real) na relação com a área de pisos dos APP da UH (Ap,UH) para alcançar os níveis intermediário e superior de desempenho, conforme destaques em vermelho para unidades unifamiliares, com PHFTUH,ref menor que 70%.

Figura 4: Tabelas 20 e 21 da NBR 15575-1/2021

Tabela 20 – Incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ e redução mínima da $CgTT_{UH,real}$ para o atendimento ao nível de desempenho térmico intermediário

Critério		Tipologia			
		Unifamiliar	Multifamiliar		
		–	Pavimento térreo	Pavimento tipo	Pavimento cobertura
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH}$ kWh / (ano.m²)	$\Delta PHFT_{min}$ %			
$PHFT_{UH,ref} < 70$ %	Todos os valores	Obtido a partir do ábaco ou das equações da Figura 4			
$PHFT_{UH,ref} \geq 70$ %	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH}$ kWh / (ano.m²)	$RedCgTT_{min}$ %			
$PHFT_{UH,ref} < 70$ %	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH,ref} \geq 70$ %	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} < 100$	17	15	22	15
	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} \geq 100$	27	20	25	20

Tabela 21 – Incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ e redução mínima da $CgTT_{UH,real}$ para o atendimento ao nível de desempenho térmico superior

Critério		Tipologia			
		Unifamiliar	Multifamiliar		
		–	Pavimento térreo	Pavimento tipo	Pavimento cobertura
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH}$ kWh / (ano.m²)	$\Delta PHFT_{min}$ %			
$PHFT_{UH,ref} < 70\%$	Todos os valores	Obtido a partir do ábaco ou das equações da Figura 4			
$PHFT_{UH,ref} \geq 70\%$	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH}$ kWh / (ano.m²)	$RedCgTT_{min}$ %			

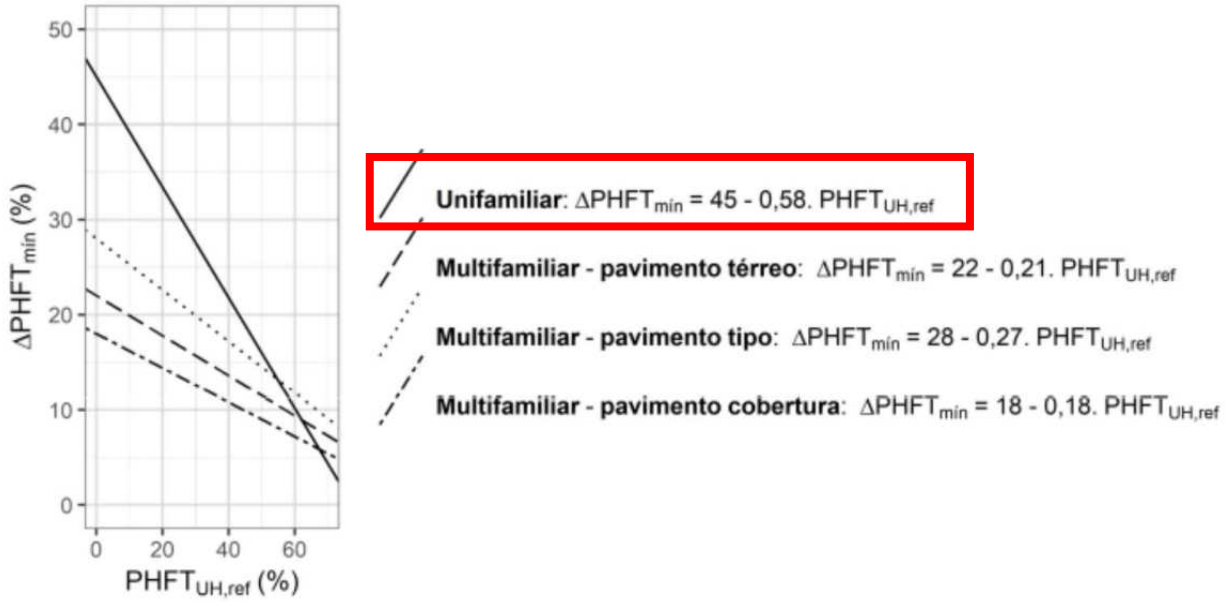
Critério		Tipologia			
		Unifamiliar	Multifamiliar		
		–	Pavimento térreo	Pavimento tipo	Pavimento cobertura
Todos os valores	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} < 100$	35	30	45	30
	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} \geq 100$	55	40	50	40

NOTA O nível superior também pode ser obtido se o $PHFT_{UH,real}$ do modelo real for maior ou igual a 95 %, juntamente com o atendimento ao critério de temperaturas anuais máxima e mínima ($Tomáx_{UH}$ e $Tomín_{UH}$).

Fonte: ABNT, 2021 [27].

As tabelas 20 e 21 da NBR 15575-1/2021 referenciam o ábaco contido na Figura 5, que determina, por meio de equação destacada em vermelho, o ΔPHFTmín quando o PHFTUHref for inferior a 70%.

Figura 5: Ábaco e equações para obtenção do ΔPHFTmín quando o PHFTUHref for inferior a 70% .



Fonte: ABNT, 2021 [27].

Para análise horária anual desenvolveu-se planilhas com combinações entre o tipo de APP, horas de ocupação, TBSm, TO máxima dos APP e da UH, considerando a variação admissível (ΔTomax), e a equação descrita a partir do ábaco da Figura 7, a fim de verificar o percentual de horas de ocupação dentro da faixa de TO (FT) em cada APP (PHFT) e da UH (PHFTUH), e a necessidade de resfriamento durante a ocupação. Estes critérios possibilitaram verificar quais seriam os limites de utilização do TC considerando a utilização da ventilação natural, sua resiliência como uma boa estratégia para edificações em climas tropicais, diante das austeridades dos cenários climáticos avaliados.

Além do PHFTUH considerou-se o percentual de horas acima da FT (PHsFTUH), buscando comparar os resultados dos modelos considerados reais, e para o modelo Mnor_T_80 foram verificadas as relações entre carga térmica total da UH a área dos pisos dos APP (CgTTUH,ref/Ap) e o percentual de redução de carga térmica total RedCgTT(%), conforme método normativo.

RESULTADOS

O Quadro 3 apresenta as comparações que puderam ser estabelecidas entre os modelos Mref, Mnor_T, Mref_T_50, Mnor_T_50, Mref_T_80 e Mnor_T_80; destacando: i) Associação entre TC e aumento da ventilação nos APP; ii e iii) O peso da ventilação natural no método de simulação da NBR 15575/2021, em detrimento da realidade climática atual local; iv) Aumento de TBS e TO sem alteração da FT; aumento na proporção de horas na FT com a utilização do TC em relação ao modelo de referência; e v) Aumento de TBS e TO com alteração da FT operativa; redução substancial na proporção de horas na FT com a utilização do TC em relação ao modelo de referência.

Quadro 3: Interações e relações entre modelos simulados

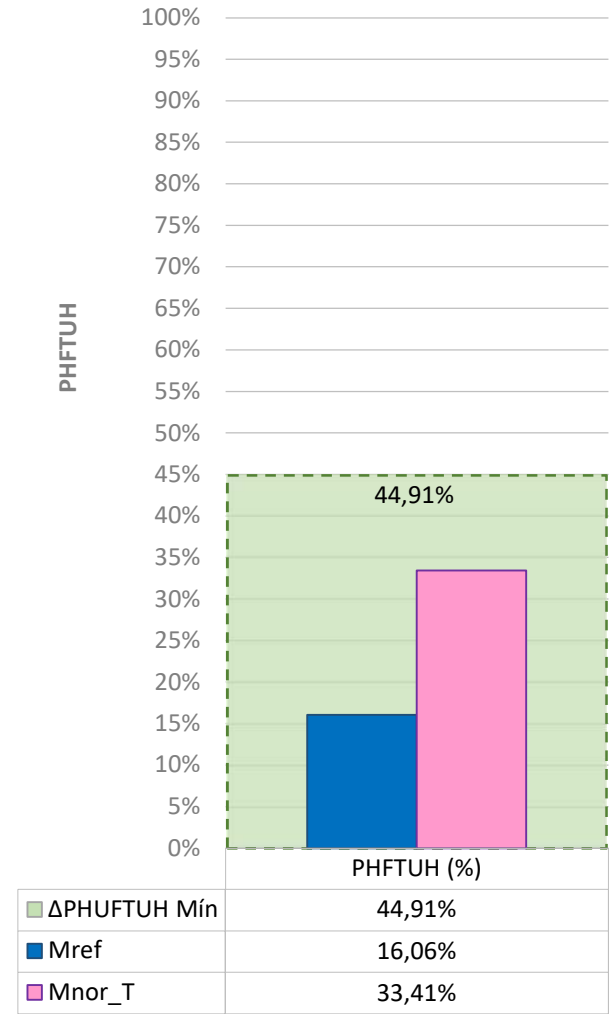
	Mnor_T	Mnor_T_50	Mnor_T_80
Mref	i		
Mnor_T		ii	iii
Mref_50		iv	
Mref_80			v

Fonte: os autores.

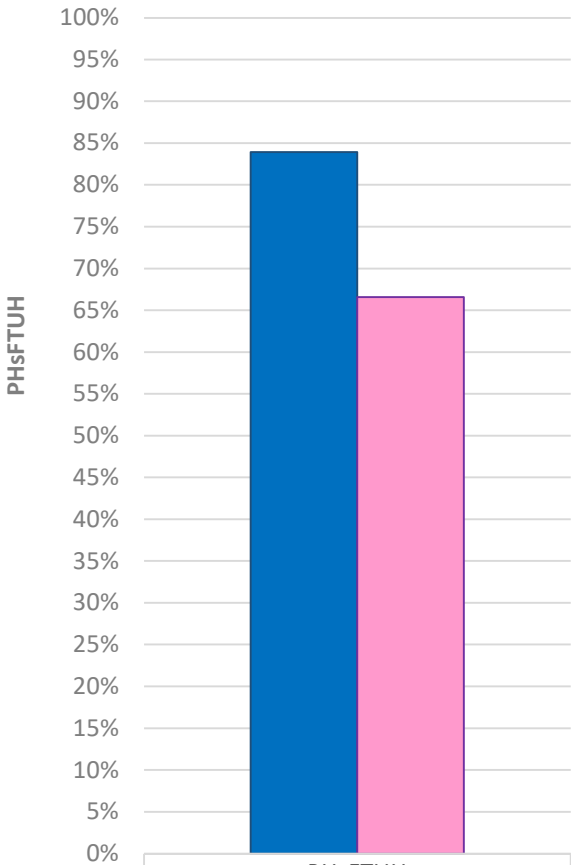
Os resultados de simulação indicaram que Mnor_T alcançou desempenho mínimo, com PHFTUH,ref abaixo de 70%, mas não alcançou o incremento mínimo do PHFTUH, de 44,91%, calculado por meio do ábaco, necessário para alcançar o desempenho intermediário na análise sob condição de clima atual.

O Gráfico 1 apresenta os percentuais alcançados pelo modelo de referência, e por Mnor_T, em comparação com o incremento mínimo que deveria ser alcançado para o atendimento dos critérios em nível intermediário, destacado em verde. O Gráfico 2 indica os percentuais de horas em que as UH,ref e UH,real estiveram acima da FT.

Gráfico 1 e 2: Percentual de horas dentro da FT das UH (PHFTUH) e acima FT das UH (PHsFTUH).



	PHFTUH (%)
ΔPHUFTUH Mín	44,91%
Mref	16,06%
Mnor_T	33,41%



	PHsFTUH
Mref	83,94%
Mnor_T	66,59%

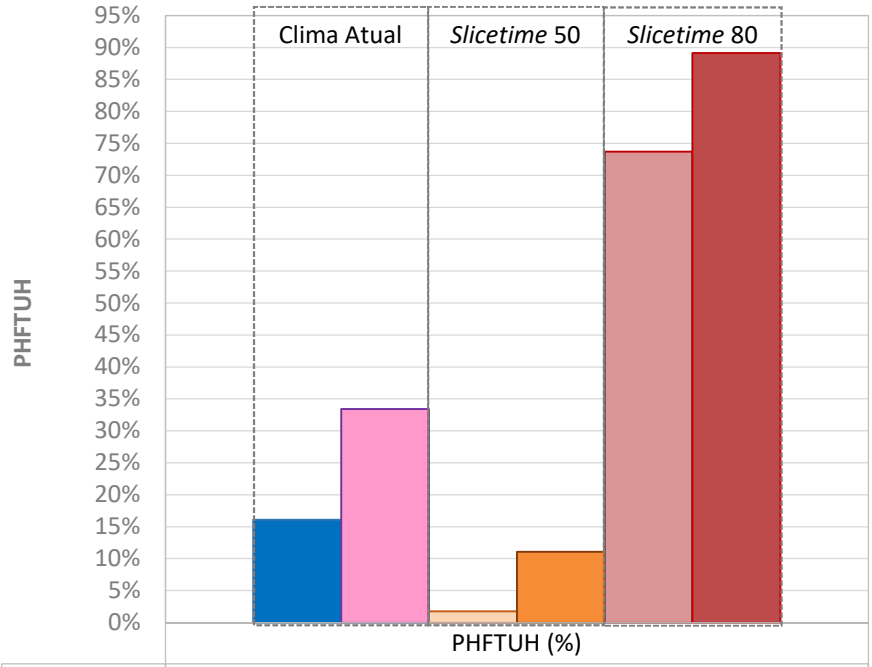
Fonte: os autores.

O gráfico de PHFTUH acentua a austeridade climática atual para o recorte amostral, e a incapacidade dos modelos em galgar o nível intermediário conforme a metodologia

normativa. O gráfico de PHsFTUH, complementa a análise demonstrando que Mnor_T atravessa o ano com mais de 65% das horas do ano acima da FT.

Assim, os modelos foram simulados em clima de AEGEE. E, como previsto, os resultados de DT no *slicetime* 50 são piores, mas com o PHFT de Mnor_T_50 ainda próximo ao PHFT de Mref, demonstrando a capacidade de resistência do modelo com TC no período de meia VU. Todavia, os resultados obtidos para o *slicetime* 80, são melhores (Gráfico 3).

Gráfico 3: PHFTUH período atual, *slicetime* 50 e *slicetime* 80.



	PHFTUH (%)
Mref	16,06%
Mnor_T	33,41%
Mref_50	1,74%
Mnor_T_50	11,08%
Mref_80	73,68%
Mnor_T_80	89,13%

Fonte: os autores.

Os resultados decorrem da metodologia normativa da NBR 15575/2021, que estabelece FT exclusivamente a partir das TBSm dos EPW, sem considerar outras variáveis de clima, ou outros indicadores como o *Universal Thermal Climate Index* (UTCI). Enquanto Mnor_T e Mnor_T_50 são comparados aos seus modelos de referência com base no intervalo 1, entre 18 e 26 °C, Mnor_T_80 é avaliado e comparado com base no intervalo 3, uma vez que a TBSm do EPW vai a 27,8 °C. Assim, o limite superior para FT aumenta em 4°C, saindo de 26°C no intervalo 1, indo a 30°C no intervalo 3. Intervalos definidos pela Tabela 2 da NBR 15575/2021-1.

Os resultados obtidos alertam sobre situações específicas do método normativo. Os intervalos de TO listados na Tabela 2 (Quadro 2) da NBR 15575-1/2021 podem mascarar resultados de desempenho de edifícios, quando expostos a diferentes condições de temperatura ao longo de sua vida útil.

Causa estranheza que o mesmo edifício apresente desempenho em nível inferior quando em clima com TBSm menor que em clima de TBSm mais alta. O mesmo edifício com TC, analisado em clima atual e no clima do *slicetime* 50, passa por análises a partir do mesmo intervalo de temperatura, ou seja, apresentam TBSm similares, que definem a mesma FT para a análise. Não obstante a piora do cenário climático, os resultados das avaliações resultam no mesmo nível de desempenho (mínimo), sem possibilidade de classificação intermediária, mas, neste caso, há melhora na comparação com os respectivos modelos de referência. Apresentam respectivamente 2,08 vezes e 6,36 vezes o número de horas dentro da FT em relação aos seus modelos de referência. O modelo com TC, em pior condição de clima é melhor em relação ao seu modelo de referência, apontando para a resiliência da edificação.

Com o aumento TBSm mudam-se os intervalos de temperaturas da análise. No clima projetado para o *slicetime* 80 a TBSm de 27,8°C ampliou em 4°C o limite superior da análise. Mas de fato o modelo com TC, nesta condição de clima, é pior em relação ao seu modelo de referência. Na comparação apresenta apenas 1,21 vezes o número de horas dentro da FT, e o seu nível é intermediário, pois o Mref_80 passa mais de 70% das horas dentro da nova FT e o PHFT de Mnor_T_80 em relação ao Mref_80 é maior que 90%.

A relação entre carga térmica total da UH de referência e área de pisos dos APP (CgTTUH,ref/Ap) é maior que 100 (625,90), e Mnor_T_80 atinge e ultrapassa o valor de 27% de redução mínima indicado na tabela 20 da NBR 15575-1/2021, apresentando redução de 43,93% em RedCgTT.

Os intervalos normativos para FT não falam do DT do edifício, mas sim da relação conforto térmico do usuário e clima na perspectiva do conforto adaptativo, mascarando os resultados de desempenho da edificação na relação com o seu modelo de referência. O ábaco utilizado para definição do ΔPHFTUHmín, quando os modelos de referência apresentam menos de 70% do PHFT, penaliza a análise sobremaneira, sem nenhuma relação, consideração, ou ressalva, entre os parâmetros de conforto, DT e clima, especialmente quanto à ventilação, que é a base do método. Vale lembrar que há limite para a capacidade de adaptação fisiológica humana, e que, talvez, esteja recaindo sobre o DT de edificações uma condição de clima intransponível a edifícios quando em situação próxima a de calmaria.

A análise entre os PHsFTUH dos modelos de referência e dos modelos reais utilizados na investigação permitiu entender que, para o clima do estudo, o TC popular, como conhecido em 2022, pode ser considerado uma boa estratégia bioclimática passiva para o DT de edificações até aproximadamente meia vida útil (*slicetime* 50), mostrando-se resistente e conferindo resiliência à edificação diante das mudanças de clima, pois ajudará a ampliar o PHFT em relação ao modelo de referência. Mas que perderá grande parte de sua capacidade de resistir e melhorar o PHFT em relação ao modelo de referência ao final dos próximos 50 anos (*slicetime* 80) se o processo de mudanças climáticas não for desacelerado, ou estancado.

CONCLUSÕES

O trabalho analisou dois diferentes tipos SC em região quente e úmida termicamente estressada, e suas atuações sobre o DT de edifícios em cenários de clima atuais e clima futuros de AEGEE.

Os resultados desta investigação apontaram que, sob a metodologia recém atualizada da NBR 15575/2021, os SC do tipo TC, quando associados a melhoria da ventilação natural estabelecida pela normatização, são capazes de somar resultados positivos aos resultados obtidos pela melhoria da ventilação natural.

A metodologia da NBR 15575/2021 se baseia na capacidade da ventilação natural realizar trocas de calor e colaborar na exfiltração do ar quente dos ambientes construídos. Todavia, a análise acenou para a possibilidade de combinações de variáveis climáticas tornarem dificultoso o atendimento dos critérios de DT metodológicos pela falta de ventilação.

Além disso, o método normativo brasileiro válido para a avaliação de requisitos ligados à habitabilidade do ambiente construído ainda não preconiza indicadores relacionados ao processo de mudanças climáticas. Inevitavelmente a climatização artificial dos ambientes habitacionais será necessária em diversas regiões do país, o que realimentará o ciclo de demanda energética e emissão de GEE.

Novos estudos são necessários para complementar estudos existentes sobre limites dos climas brasileiros; limites das edificações e capacidades de proteção quanto ao clima; surgimento de estratégias controladas de ventilação, indicativos para inviabilidade de utilização de ventilação natural na metodologia de simulação computacional de análise de DT; e da necessidade de utilização de ventilação associada à refrigeração com recuperação de calor; e apontamentos sobre os limites da fisiologia humana no ambiente construído diante das mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

[1] MANABE, S.; WETHERALD, R. T. The **Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a given distribution of relative umidity**. Journal of the Atmospheric Science, v.24, n.3, p.241-259, 1967.

[2] ALVAREZ, C. E. de; BRAGANÇA, L. **Medidas para o Enfrentamento dos Impactos das Mudanças Climáticas no Ambiente Construído**. In: Anais do Congresso Internacional SUSTENTABILIDADE URBANA - 14ª Jornada URBENERE e 2ª Jornada CIRES, Vila Velha, 2018. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/59308>. Acesso em: 28 maio 2022.

[3] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION — NASA. **2018 fourth warmest year in continued warming trend, according to NASA, NOAA.** United States of America: NASA, 2019. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/news/2841/2018-fourth-warmest-year-in-continued-warming-trendaccording-to-nasa-noaa/>. Acesso em: 28 maio 2022.

[4] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Technical Summary. In: Climate Change 202: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press. In Press. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 28 maio 2022.

[5] NOBRE, C. A.; SOARES, W.; QUEIROZ, M. **Notas de aula da disciplina Mudanças Climáticas** (PAMB 5093). UFES. Vitória. 2020.

[6] WASSOUF, M. **De la casa passiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos.** Barcelona: Gustavo Gili, 2014.

[7] LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA; ELETROBRÁS; PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico.** Florianópolis: UFSC, 2010.

[8] CORBELLA, O.; CORNER, V. **Manual de arquitetura bioclimática tropical.** Rio de Janeiro: Revan, 2011.

[9] STERK, M.; LEEMPUT, I. A.; PEETERS, E. THM. **How to conceptualize and operationalize resilience in socio-ecological systems?** Current Opinion in Environmental Sustainability, 28, 2017, 108-113.

[10] SASSO-FERRÃO, A. L.; NICO-RODRIGUES, E. A. Análise de sistemas de coberturas e Terraço Capixaba em região quente e úmida do município de Castelo-ES. In: Encontro Latino americano e europeu sobre edificações e comunidades sustentáveis. **Anais do Evento.** Salvador: Universidade Federal da Bahia. 2021. p. 926-938. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/35359>. Acessado em: 28 maio de 2022.

[11] MENDONÇA, E.; FRANÇA, C.; MACIEL, D. Transformações urbanas contemporâneas a partir da morfologia urbana de Vila Velha, ES, Brasil. In: 4ª CONFERÊNCIA DO PNUM MORFOLOGIA URBANA E OS DESAFIOS DA URBANIDADE. BRASÍLIA: Universidade de Brasília, 2015. p. 169-181.

[12] AB' SÁBER, A. **Os Domínios da Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas.** 7ª. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

[13] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report.** Geneva. 2007.

[14] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 2014. 151 pp. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf>. Acesso em: 13 agosto 2022.

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

[16] ALEGRE (ES). **Lei nº 2.736/2006.** Dispõe sobre o Código de Obras e Edificações do Município de Alegre. Disponível em: < https://alegre.es.gov.br/arquivos/diario-oficial/leis/anteriores/2736-2006%20-%20Dispoe%20sobre%20o%20Codigo%20de%20Obras%20e%20Edificacoes%20do%20Municipio%20de%20Alegre.pdf>. Acessado em: 28 maio de 2022.

[17] CASTELO (ES). **Lei nº 1.248/1991**. Institui o Código de Obras do Município de Castelo e dá outras providências. Disponível em: < http://www.castelo.es.gov.br/arquivos/pdm/Lei%201248-1991%20-

%20CÓDIGO%20DE%20OBRAS%20(COMPLETO%20-%20ATUALIZADO%20-%20EDITADO).pdf>. Acessado em: 28 maio de 2022.

[18] CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM (ES). **Decreto nº 2.008/1975**. Aprova os regulamentos complementares à lei de desenvolvimento urbano do município de Cachoeiro de Itapemirim e dá outras providências. Disponível em: < https://www.cachoeiro.es.gov.br/site-pmci/wp-content/uploads/cpdm/2019/07/decreto2008-1975-codigodeobras.pdf>. Acessado em: 28 maio de 2022.

[19] VENDA NOVA DO IMIGRANTE (ES). **Lei Complementar nº 70/1990**. Institui as normas gerais para as edificações nos perímetros urbanos do município de Venda Nova do Imigrante e dá outras providências. Disponível em: < http://www3.camaravni.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/C701990.html>. Acessado em: 28 maio de 2022.

[20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: 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. 2005.

[21] LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa energyplus – Versão 9.0.1**. Florianópolis: UFSC, 2020.

[22] LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto Ground Domain no programa energyplus – versão 9.0.1** Florianópolis: UFSC, 2019.

[23] JENTSCH, M. F.; BAHAJ, A. S.; JAMES, O. A. B. **Manual CCWorldWeatherGen Climate change world weather file generator: Manual.** Southampton. 2017. Versão 1.9.

[24] JENTSCH, M. F. et al. **Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates.** Renewable Energy, 55, 2013. 514-524.

[25] JENTSCH, M. F.; BAHAJ, M. A. S.. J. P. A. B. **Climate change future proofing of buildings-Generation and assessment of building simulation weather files.** Energy and Buildings, 40, n. 12, 2008. 2148-2168.

[26] BELCHER, S. E.; HACKER, J. N.; POWELL, D. S. **Constructing design weather data for future climates.** Building Service Engineering, Fev. 2005. 49-61.

[27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro. 2021.