XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Desenvolvimento de Ferramenta Automatizada para Avaliação do Desempenho Térmico conforme a NBR 15575:2021

Desarrollo de una Herramienta Automatizada para la Evaluación del Desempeño Térmico según la NBR 15575:2021

Development of an Automated Tool for Thermal Performance Assessment according to NBR 15575:2021

Eficiência Energética no Ambiente Construído / *Eficiencia Energética en el Entorno Construido / Energy Efficiency in the Built Environment*

Lima Braga, Jhonata
Arquiteto e Urbanista, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil

De Medeiros Machado, Rebecca
Arquiteta e Urbanista, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil

Santos Arruda, Euler
Doutor em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, eulerarruda@ufpa.br

Santos Barata, Márcio
Doutor em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, marciobarata@ufpa.br

Ramos Zemero, Bruno
Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, brunorz@ufpa.br

Resumo

Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para a avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais, com base no procedimento de simulação computacional previsto na NBR 15575:2021. A pesquisa resultou na criação de uma planilha eletrônica no Excel, que automatiza o cálculo dos indicadores Percentual de Horas na Faixa de Temperatura Operativa (PHFT), Temperatura Operativa Máxima Anual (Tomáx) e Carga Térmica Total (CgTT). O método foi validado por meio da aplicação em um estudo de caso de Habitação de Interesse Social (HIS) multifamiliar implantada em Belém-PA, considerando análise horária dos dados de saída de simulação térmica no EnergyPlus. A ferramenta desenvolvida busca reduzir a complexidade operacional do procedimento normativo, proporcionando maior agilidade e precisão na avaliação de desempenho térmico, com potencial de aplicação em projetos residenciais voltados à eficiência energética e à adaptação climática.

Palavras-chave: Desempenho térmico. NBR 15575:2021. Simulação computacional. eficiência energética, habitação de interesse social.

Resumen

Este estudio propone el desarrollo de una herramienta computacional para la evaluación del desempeño térmico de edificaciones residenciales, basada en el procedimiento de simulación computacional establecido en la NBR 15575:2021. La investigación resultó en la creación de una hoja de cálculo en Excel que automatiza el cálculo de los principales indicadores: Porcentaje de Horas dentro del Rango de Temperatura Operativa (PHFT), Temperatura Operativa Máxima Anual (Tomáx) y Carga Térmica Total (CgTT). La metodología fue validada mediante la aplicación en un estudio de caso de una Vivienda de Interés Social (VIS) multifamiliar localizada en Belém, Brasil, utilizando datos horarios de simulación térmica generados en EnergyPlus. La herramienta desarrollada busca simplificar el proceso normativo de evaluación, aumentando la agilidad y precisión en los análisis de desempeño térmico, y ofreciendo aportes a proyectos residenciales enfocados en la eficiencia energética y la adaptación climática.

Palabras clave: Desempeño térmico. NBR 15575:2021. Simulación computacional. Eficiencia energética. Vivienda de interés social.

Abstract

This study proposes the development of a computational tool for assessing the thermal performance of residential buildings, based on the computer simulation procedure outlined in NBR 15575:2021. The research led to the creation of an Excel spreadsheet that automates the calculation of key indicators: Percentage of Hours within the Operative Temperature Range (PHFT), Annual Maximum Operative Temperature (Tomáx), and Total Thermal Load (CgTT). The methodology was validated through its application in a case study involving a multifamily Social Housing Project (HIS) located in Belém, Brazil, based on hourly thermal simulation data generated with EnergyPlus. The developed tool aims to simplify the normative evaluation process, enhancing the speed and accuracy of thermal performance assessments, and offering potential contributions to residential projects focused on energy efficiency and climate adaptation.

Keywords: Thermal performance. NBR 15575:2021. Computer simulation. Energy efficiency. Social Housing.

Introdução

As mudanças climáticas têm impulsionado a busca por soluções sustentáveis no setor da construção civil, destacando a eficiência energética e o desempenho térmico das edificações como elementos cruciais, sobretudo em países de grande diversidade climática como o Brasil (GHISI; SILVA, 2020). No setor residencial, cerca de 20% da energia elétrica é consumida através de aparelhos de condicionamento artificial (PROCEL, 2019), evidenciando a necessidade de estratégias capazes de minimizar a dependência desses sistemas. A NBR 15575 (ABNT, 2021) representa um avanço ao estabelecer parâmetros objetivos para avaliação do desempenho térmico residencial, incorporando simulações computacionais mais robustas em suas análises (LAMBERTS; GHISI, 2021).

Entretanto, sua ampla aplicação enfrenta barreiras significativas devido à complexidade dos procedimentos técnicos exigidos (SORGATO et al., 2014; KRELLING; LAMBERTS, 2020). Essa limitação é ainda mais crítica em projetos direcionados para Habitações de Interesse Social (HIS), especialmente em regiões de clima severo como Belém do Pará — inserida na Zona Bioclimática 6A da NBR 15220-3 (ABNT, 2024), onde os projetos frequentemente alcançam níveis insatisfatórios de desempenho térmico (SOUZA; ALVAREZ, 2019). Diante desse cenário, este estudo propõe uma ferramenta automatizada em planilha eletrônica para simplificar a aplicação da norma, tornando-a mais acessível aos profissionais com a possibilidade de redução do tempo de análise. O objetivo é desenvolver e validar a ferramenta através do método de simulação computacional da NBR 15575 (ABNT, 2021), em um estudo de caso de uma edificação residencial multifamiliar em Belém/PA, estruturando seus requisitos da normativa em uma planilha funcional com recursos de visualização dinâmica e módulos de análise automatizada. A proposta visa ampliar o acesso a avaliações de desempenho térmico, contribuindo para a qualidade do ambiente construído em regiões críticas.

Metodologia

A avaliação de desempenho térmico foi estruturada em quatro etapas principais: (1) caracterização do estudo de caso; (2) execução de simulações computacionais conforme a NBR 15575 (ABNT, 2021); (3) desenvolvimento de ferramenta automatizada (planilha eletrônica) para aplicação dos critérios normativos; (4) análise e interpretação dos resultados obtidos.

1. Caracterização – Clima de Belém/PA

Belém do Pará está situada na Zona Bioclimática 6A, conforme a NBR 15220-3 (ABNT, 2024), caracterizada por clima extremamente quente e úmido, com temperatura média anual de bulbo seco (TBSm) igual ou superior a 27,0 °C e umidade relativa anual acima de 66,8%.

Tabela 1 - Estratégias Bioclimáticas Recomendadas pela NBR 15220-3:2024

Estratégias	Recomendações	Projeto
Ventilação Natural	Priorizar ventilação cruzada (aberturas opostas); maior área de ventilação + sombreamento em Ambientes de Permanência Prolongada; usar diferença de alturas entre aberturas (peitoril ventilado + exaustão superior).	Adotado
Sombreamento	Sombreamento de todas as aberturas ao longo do dia	Adotado
Cores da Envoltória	Adoção de cores claras na envoltória para reduzir a absorção de calor	Adotado parcialmente
Isolamento Térmico	Recomendado na cobertura, combinado com baixa absortância solar (cores claras)	Adotado parcialmente
Componentes Construtivos	Preferência por componentes de baixa capacidade térmica quando adotado isolamento térmico nas paredes externas	Adotado

Fonte: Adaptada NBR 15220-3 (ABNT, 2024)

As simulações computacionais utilizaram o arquivo climático TRY (*Test Reference Year*) de Belém, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A partir desse arquivo, a TBSm registrada foi de 27,15 °C, admitindo o enquadramento da cidade no Intervalo 3 (Tabela 2) para os cálculos de desempenho térmico conforme a NBR 15575 (ABNT, 2021).

Tabela 2 - Faixas de temperaturas operativas para determinação do PHFT e CgTR

Intervalo	Média anual de temperatura de bulbo seco do arquivo climático - TBS (°C)	Faixa de temperatura operativa de interesse (°C)	
		$PHFT_{APP}$	$CgTR_{APP}$
3	TBSm ≥ 27,0 °C	To_{APP} < 30,0 °C	To_{APP} ≥ 30,0 °C

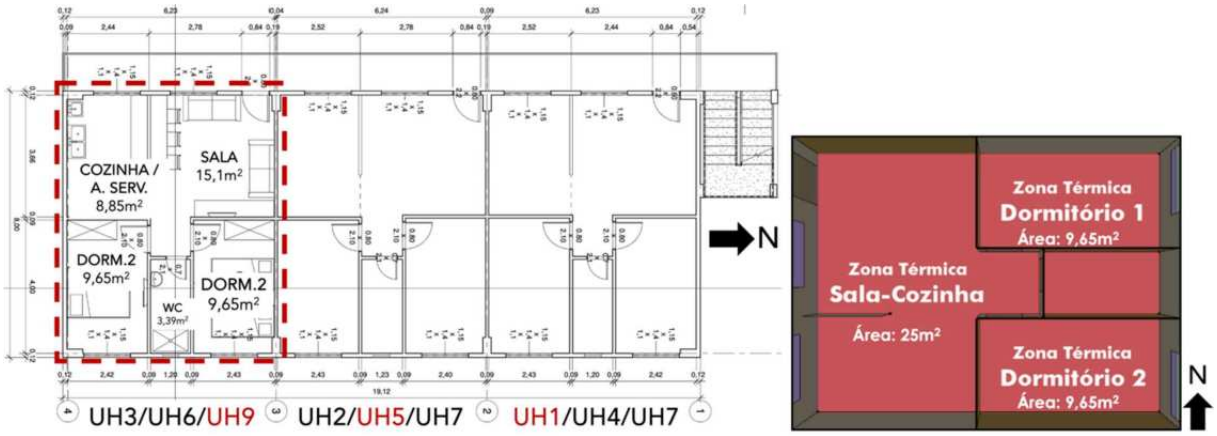
Fonte: Adaptada NBR 15575 (ABNT, 2021)

1.1 Caracterização – Tipologia Adotada para Estudo de Caso.

O estudo analisou uma Habitação de Interesse Social (HIS) multifamiliar de três pavimentos sobre pilotis, compreendendo nove Unidades Habitacionais (UHs). O projeto incorpora estratégias bioclimáticas específicas para o clima quente e úmido da Região Metropolitana de Belém (Tabela 1), com destaque para: (i) orientação dos dormitórios para leste, minimizando

a incidência solar matinal; e (ii) organização dos acessos através de corredores norte e escada lateral.

Figura 1 - Planta Baixa Habitação de Interesse Social (HIS) / Divisão Zonas Térmicas



Fonte: Autor

As UHs apresentam pé-direito de 2,80m e área útil de 47,70m² (Figura 1), distribuída em: dois dormitórios (9,65m² cada), banheiro (3,39m²), sala (15,1m²) e cozinha/área de serviço (8,85m²). Para análise, selecionaram-se três unidades representativas: UH1 (térreo), UH5 (intermediário) e UH9 (cobertura), todas com orientação norte-leste. Cada UH foi modelada em três zonas térmicas (Figura 1): dois dormitórios (9,65m² cada) e um ambiente integrado sala-cozinha (25m²).

1.2 Componentes Construtivos

No modelo real, as propriedades térmicas da envoltória seguem os índices da Tabela 3. O piso é revestido com cerâmica, e as áreas molhadas (banheiro, cozinha e parte da área de serviço) têm acabamento em azulejo. A cobertura é composta por estrutura de madeira, câmara de ar e telha de fibrocimento. Para superfícies externas, adotaram-se os valores padrão do programa *EnergyPlus*: absortância solar (α) de 0,70 e emissividade (ε) de 0,90. No modelo de referência, os componentes seguem os parâmetros da NBR 15575 (ABNT, 2021). A cobertura é formada por telha de 6mm, câmara de ar com resistência térmica de 0,21 (m²·K)/W e laje de 100mm. Devido à localização na Zona Bioclimática 6A (ABNT, 2024), foi adicionado isolante

térmico sobre a laje (0,67 (m²·K)/W) e absortância solar de 0,50. As aberturas envidraçadas foram dimensionadas para atingir 17% da área de piso dos APPs.

Tabela 3 - Componentes construtivos da envoltória do modelo real

COMPONENTE	CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA (CM)	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m°C)	DENSIDADE (KG/M³)
Cobertura	Externa	Fibrocimento	0,8	1,0	1900
	2	Câmara de ar	25,0	1,2	-
	3	Madeira	1,0	0,2	600
Parede	Externa	Argamassa externa	2,5	1,15	2000
	2	Cerâmica	1,34	0,9	1600
	3	Câmara de ar	6,32	0,361	-
	4	Cerâmica	1,34	0,9	1600
	5	Argamassa interna	2,5	1,15	2000
Piso	Externa	Piso Cerâmico	0,75	1,05	2000
	2	Constrapiso	2	1,15	2000
	3	Concreto	7,5	1,75	2200
	4	EPS + concreto	15	0,287	401

Fonte: Projeteee (BRASIL, 2025)

2. Procedimentos de Simulação Computacional

A edificação e seu entorno foram modelados no plugin OpenStudio para SketchUp, considerando orientação solar, aberturas e zonas térmicas (Figura 1). No OpenStudio Application, definiram-se os padrões de uso, cargas internas (Tabela 4 e 6) e o arquivo climático. O modelo foi exportado para o EnergyPlus, onde foram atribuídas as propriedades térmicas da envoltória (Tabela 3) e ativado o cálculo da temperatura do solo (*Ground Domain Slab > FiniteDifference*). Por fim, configuraram-se os cenários de ventilação natural e climatização artificial conforme definido pela NBR 15575 (ABNT, 2021).

2.1 Padrões de Uso e Ocupação

Estabeleceu-se a ocupação máxima de dois indivíduos nos dormitórios e quatro na sala, representando 100% da capacidade. A iluminação foi considerada apenas nos Ambientes de Permanência Prolongada (APPs), com densidade de potência de 5W/m² para dormitórios e sala. Os equipamentos elétricos foram inseridos apenas na sala, com carga de 12W, fração radiante de 0,30W e funcionamento entre 14h e 22h.

Tabela 4 - Padrões de uso do sistema de iluminação artificial dos APPs

Hora	Dormitório	Sala
0:00h - 05:59h	0%	0%
06:00h - 07:59h	100%	0%
8:00h - 15:59h	0%	0%
16:00h - 21:59h	0%	100%
22:00h – 23:59h	100%	0%

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2021)

2.2 Taxas metabólicas

A modelagem da ocupação e cargas internas foi idêntica para ambos os modelos (Real e de Referência), seguindo rigorosamente os padrões das Tabela 4 e 6 adaptadas da NBR 15575 (ABNT, 2021).

Tabela 5 - Taxa metabólica e fração radiante para os usuários

Ambiente	Período de Uso	Atividade	Calor produzido por área de superfície corporal (W/m^2)	Calor produzido por uma pessoa com 1,80m^2 de área de superfície corporal (W)	Fração radiante
Dormitórios	00:00 – 07:59 e 22:00 – 23:59	Dormindo ou descansando	45	81	0,3
Sala	14:00 – 21:59	Sentado ou assistindo TV	60	108	0,3

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2021)

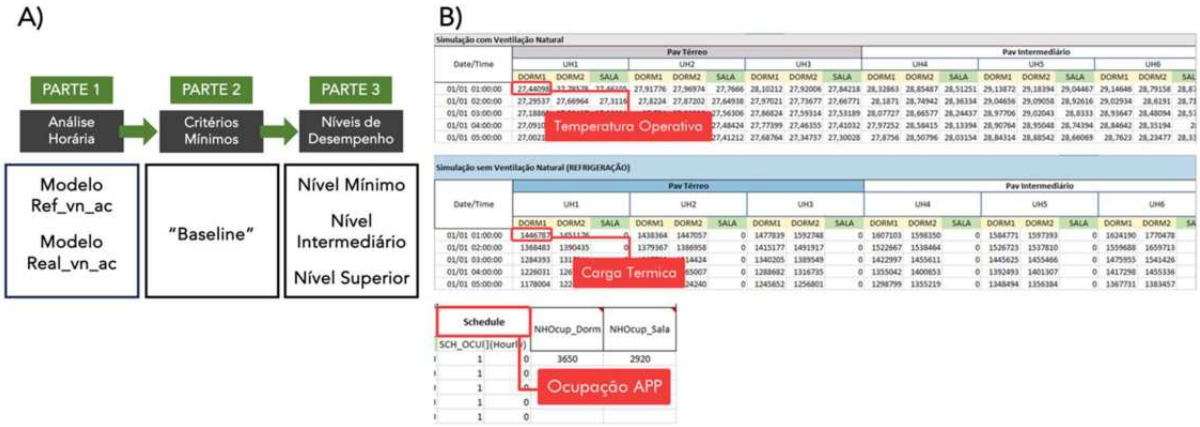
2.3 Ventilação natural e condicionamento artificial

Nos modelos com ventilação natural, as janelas dos Ambientes de Permanência Prolongada (APPs) foram programadas para abrir apenas com: a presença de ocupação, temperatura interna igual ou superior a 19 °C e maior que a externa. A janela do banheiro permaneceu sempre aberta e as portas fechadas. Considerou-se infiltração por frestas em todos os ambientes, inclusive nos Ambientes de Permanência Transitória (APTs), com os mesmos coeficientes do modelo ventilado. Nos modelos com climatização artificial, portas e janelas ficaram fechadas e adotou-se *setpoint* de 23 °C nos períodos de ocupação. As simulações abrangeram quatro cenários: modelo real e de referência, ambos com e sem ventilação natural.

3. Elaboração de planilhas eletrônicas

A análise dos dados de saída do programa EnergyPlus para determinação do nível de desempenho térmico da edificação utilizou os indicadores delimitados pela NBR 15575 (ABNT, 2021): Temperaturas Operativas Máxima e Mínima (Tomáx e Tomín), Percentual de Horas em Faixa de Temperatura Operativa (PHFT), Cargas Térmicas Anuais de Refrigeração (CgTR) e de Aquecimento (CgTA), cuja soma resulta na Carga Térmica Total Anual (CgTT), usada na classificação do desempenho. A ferramenta foi estruturada em um único arquivo com seis abas, distribuídas entre análise horária, verificação de critérios mínimos e determinação dos níveis de desempenho (Figura 2 – a). A inserção automatizada dos dados do EnergyPlus (Figura 2 - b) garante uma avaliação clara e eficiente do desempenho térmico.

Figura 2 – a) estrutura geral planilha de desempenho b) dados de saída da simulação térmica *Energy Plus*



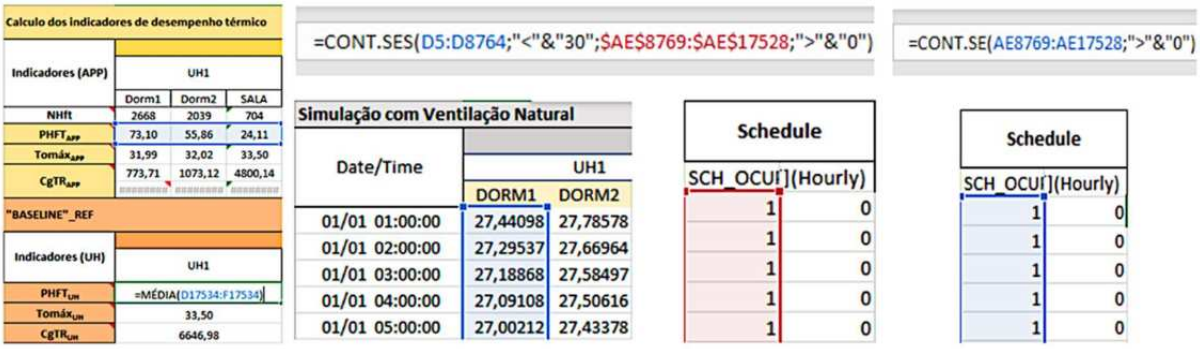
Fonte: Autor

3.1 Percentual de Horas em Faixa de Temperatura Operativa – PHFTUH

O cálculo do $PHFT_{APP}$ foi realizado individualmente para cada APP, considerando apenas as horas de ocupação definidas pela NBR 15575 (ABNT, 2021). Para cada APP, a planilha calculou o percentual de horas com temperatura operativa inferior a 30 °C (To_{APP} < 30,0 °C) (Tabela 2) em relação ao total de horas em que o ambiente permaneceu ocupado, por meio da fórmula =(Nh_FT/Nh_ocup)*100, onde Nh_FT representa as horas dentro da faixa de temperatura operativa e Nh_ocup, as horas de ocupação. Utilizou-se a função "CONT.SES" para identificar essas ocorrências e a função CONT.SE para contabilizar o total de horas ocupadas no ano

(Figura 3). O PHFT da unidade habitacional ($PHFT_{UH}$) foi obtido pela média aritmética dos PHFT dos APPs, por meio da função =MÉDIA(PHFT_APP1; PHFT_APP2; ...).

Figura 3 - Procedimento cálculo do $PHFT_{UH}$, Nh_{FT} e Nh_{ocup}

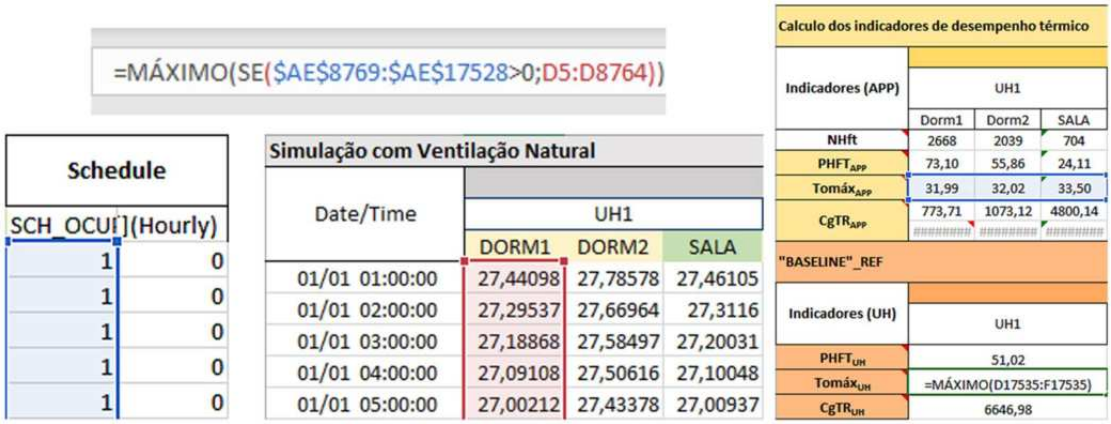


Fonte: Autor

3.2 Temperatura Operativa Máxima – $Tomáx_{UH}$

A Temperatura Operativa Máxima por APP ($Tomáx_{APP}$) foi determinada a partir dos dados de simulação em ventilação natural, considerando apenas os períodos de ocupação anual. Já a Temperatura Operativa Máxima da Unidade Habitacional ($Tomáx_{UH}$) corresponde ao maior valor entre todas as $Tomáx_{APP}$. Para esse cálculo, empregou-se uma combinação das funções "MÁXIMO" e "SE", garantindo que apenas as temperaturas durante ocupação fossem consideradas (Figura 4).

Figura 4 - Procedimento cálculo $Tomáx_{UH}$

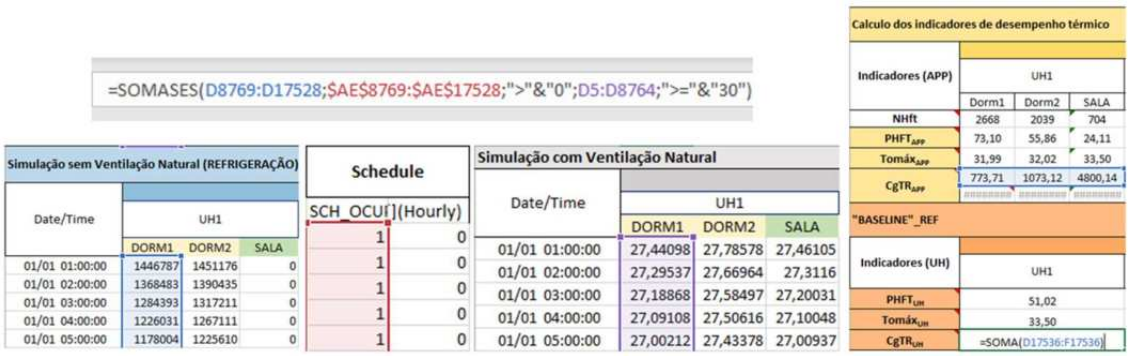


Fonte: Autor

3.3 Carga Térmica de Refrigeração da Unidade Habitacional – $CgTR_{UH}$

A $CgTR_{UH}$ foi calculada somando as cargas anuais de todos os APPs ($CgTR_{APP}$), considerando apenas os períodos de ocupação com temperatura operativa ≥ 30 °C. Para isso, utilizou-se a função "SOMASES" na planilha eletrônica, que filtra e soma exclusivamente as cargas que atendem a essas condições (Figura 5).

Figura 5 - Procedimento cálculo da $CgTR_{UH}$



Fonte: Autor

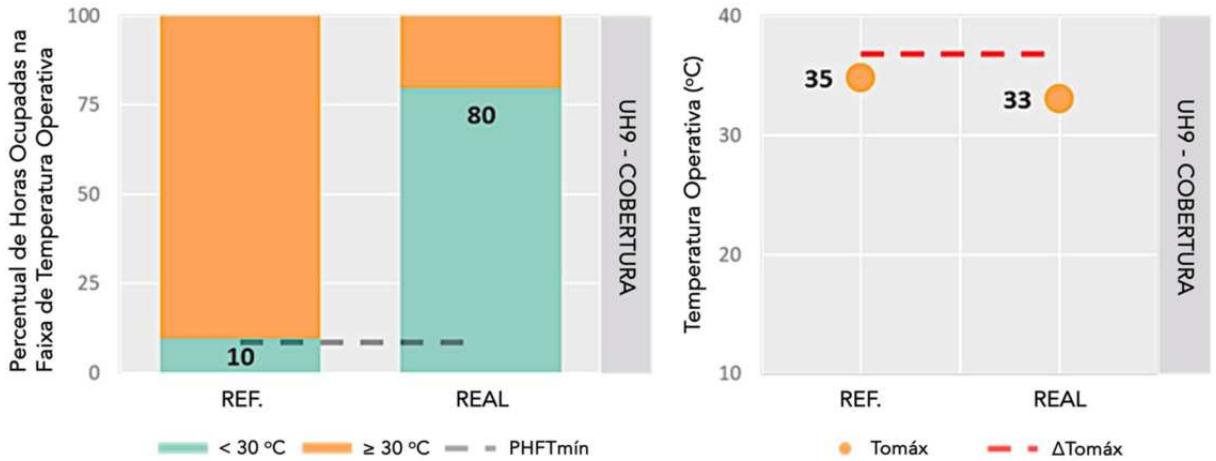
3.4 Níveis de Desempenho

A parte final da planilha é composta por três abas que avaliam, respectivamente, os níveis de desempenho térmico Mínimo (M), Intermediário (I) e superior (S). Essa avaliação foi conduzida a partir da comparação entre os indicadores do modelo Real e o de Referência de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2021).Dessa maneira, construíram-se gráficos com os valores fornecidos a aba “BASELINE”.

3.4.1 Níveis de Desempenho – Mínimo (M)

A avaliação do desempenho térmico das unidades habitacionais (UH) segue os critérios definidos pela NBR 15575 (ABNT, 2021). Para o nível mínimo (M), são considerados o Percentual de Horas na Faixa de Temperatura ($PHFT_{UH}$) e a Temperatura Operativa Anual Máxima ($Tomáx_{UH}$). O modelo real deve apresentar $PHFT_{UH}$ igual ou superior a 90% do valor do modelo de referência ($PHFT_{UH,REF}$) e $Tomáx_{UH}$ inferior à $Tomáx_{UH,REF}$, com tolerância de até 1 °C (ΔTomáx). A Figura 6 demonstra que a UH9 atendeu a esses requisitos, apresentando $PHFT_{UH,REAL}$ superior ao limite de 90% e $Tomáx_{UH,REAL}$ abaixo da temperatura de referência ajustada.

Figura 6 - Avaliação do Nível Mínimo

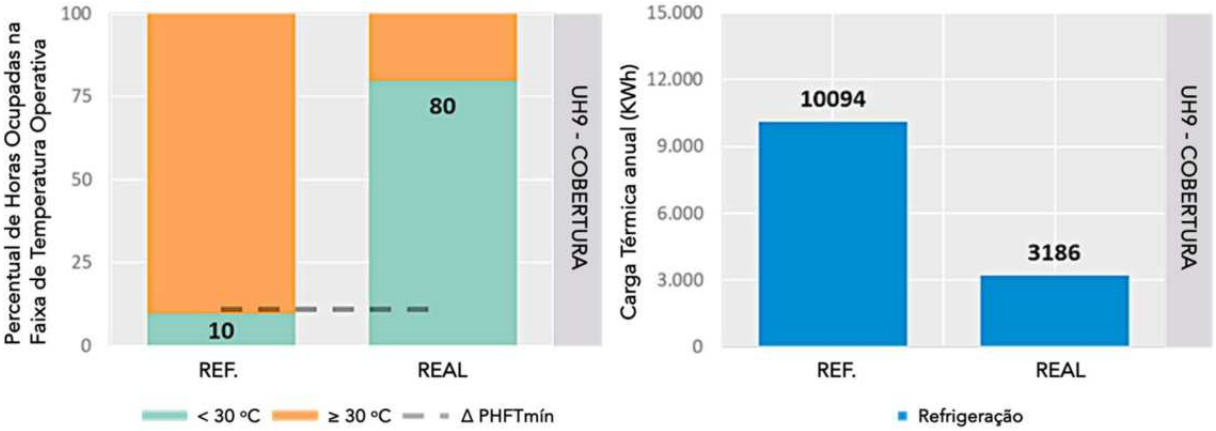


Fonte: Autor

3.5 Níveis de Desempenho – Intermediário

O nível intermediário considera dois critérios: o incremento no PHFT e a redução da Carga Térmica Total (CgTT). A UH localizada no pavimento de cobertura atendeu a esse nível. O incremento mínimo exigido ($\Delta PHFT_{mín}$) foi de 11,1% sobre o $PHFT_{UH,REF}$, totalizando 80%, o que representa um desempenho 68,9% acima do mínimo (Figura 7). Quanto à carga térmica, como o $PHFT_{UH,REF}$ foi de 10% (inferior a 70%), não se exige uma redução percentual mínima. Assim, a $CgTT_{UH,REAL}$ atendeu ao critério por ser inferior à carga térmica do modelo de referência.

Figura 7 - Avaliação do Nível Intermediário

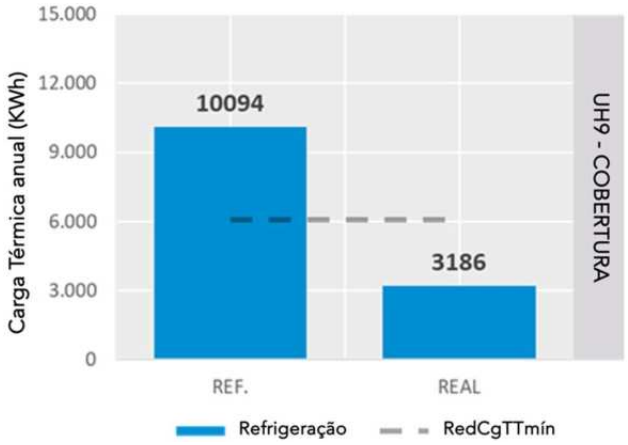


Fonte: Autor

3.6 Níveis de Desempenho – Superior

Para o nível superior, o único critério analisado é a redução da CgTT. A linha tracejada na Figura 8 indica a exigência de redução mínima de 40% da carga térmica do modelo real em relação ao modelo de referência. A UH em análise apresentou uma redução de 68%, equivalente a 6.908 kWh, satisfazendo amplamente o requisito.

Figura 8 - Avaliação Nível Superior



Fonte: Autor

4. Conclusão

O presente estudo propôs-se a desenvolver e validar uma ferramenta automatizada em planilha eletrônica com o intuito de simplificar a avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais, conforme o método de simulação computacional da NBR 15575:2021. A aplicação da ferramenta a um estudo de caso de Habitação de Interesse Social em Belém (Zona Bioclimática 6A) demonstrou sua capacidade em processar os dados de simulação e calcular os indicadores de desempenho, como o Percentual de Horas na Faixa de Temperatura (PHFT) e a Carga Térmica de Refrigeração (CgTR), classificando a unidade habitacional mais crítica (cobertura) no nível superior de desempenho. Os resultados confirmam que a ferramenta desenvolvida atinge o objetivo de facilitar a aplicação da norma, diminuindo o tempo de avaliação para profissionais da construção civil. Embora a estrutura da ferramenta contemple parâmetros adaptáveis a diferentes zonas bioclimáticas, sua validação até o momento restringe-se à apenas a Zona 6A e a uma tipologia específica. Recomenda-se, para estudos futuros, a ampliação da validação em outros contextos

climáticos e construtivos, bem como o aprimoramento das funcionalidades por meio da incorporação de análises de sensibilidade e rotinas de otimização paramétrica.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575:2021 – Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. NBR 15.575: Edificações habitacionais – desempenho. Rio de Janeiro, 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Projeto de Eficiência Energética – PROJETEEE [recurso eletrônico]. Disponível em: http://www.mme.gov.br/projeteee/. Acesso em: 10 maio 2025.

CARLO, J.; LAMBERTS, R. Development of energy efficiency standards for Brazilian residential buildings. Energy and Buildings, v. 54, p. 95-102, 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Arquivo climático (formato EPW) – Estação Belém (A101). Brasília: INMET, 2023. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/.

KRELLING, A. F.; LAMBERTS, R. Proposta de método de avaliação do desempenho térmico de residências: NBR 15575. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência energética na arquitetura. 4. ed. São Paulo: PW Editores, 2021. LAMBERTS, R.; GHISI, E. Desempenho térmico de edificações. Florianópolis: LabEEE, 2021.

PROCEL. Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso: ano base 2019. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2019. SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise de sensibilidade global dos parâmetros termofísicos de uma edificação residencial de acordo com o método de simulação do RTQ-R. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 139-160, jan./mar. 2019.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, out./dez. 2014.

SOUZA, H. A.; ALVAREZ, C. E. Análise do desempenho térmico de edificações residenciais em clima quente e úmido: estudo de caso em Belém-PA. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 233-251, jul./set. 2019.