

ECV 001/2024

Convênio ECTI

Procel + CB3E



CB3E

centro brasileiro de eficiência
energética em edificações

Relatório

Atualização dos arquivos climáticos nas normas e regulamentos relativos à Eficiência Energética de Edificações

Código: CB3E-T2-RT-09

Versão: 01

Data: 14/07/2025

Projeto: Desenvolvimento do DEO-PROCEL e suporte técnico à implementação da compulsoriedade da avaliação da conformidade de edificações quando à eficiência energética no Brasil e Proposição de sistema de capacitação e avaliação de profissionais certificados como auditores do PBE edifica

Fonte de Recurso: 4º Plano de Aplicação de Recursos PROCEL

Convênio:



Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Bairro Trindade
Florianópolis, SC – CEP 88040-900
<http://www.ufsc.br>



Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina – FEESC

Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Bairro Trindade
Florianópolis, SC – CEP 88040-370
<http://www.feesc.org.br>



Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional – ENBPar

Setor Comercial Sul Quadra 9 - Asa Sul
Brasília, DF – CEP 70308200
[http:// enbpar.gov.br/](http://enbpar.gov.br/)



Programa Nacional de conservação de Energia Elétrica – PROCEL

Setor Comercial Sul Quadra 9 - Asa Sul
Brasília, DF – CEP 70308200
<https://enbpar.gov.br/areas-de-atuacao/programas-setorias/procel/>
<http://www.procelinfo.com.br/>

Realização:



Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE

Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil
Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Bairro Trindade
Florianópolis, SC – CEP 88040-970
+55 48 3721 5184
labeee.ctc@contato.ufsc.br
<http://labeee.ufsc.br>

ENBPar/PROCEL

**Gerente de Edificações, Indústria,
Comércio e Selo PROCEL** George Alves Soares

Fiscal Titular Myrthes Marcele Farias dos Santos

Fiscal Suplente Marina da Silva Garcia

LabEEE

Coordenação: Prof. Roberto Lamberts, PhD
Profa. Ana Paula Melo, Dra.

Pesquisadores A: Greici Ramos, Dra.
Matheus Geraldi, Dr.
Rayner Maurício e Silva Machado, Dr.
Renata De Vecchi, Dra.

Apoio: Matheus Körbes Bracht

Ficha Técnica deste documento

Trabalho: Trabalho II - Suporte técnico à implementação da compulsoriedade da avaliação da conformidade de edificações quanto à eficiência energética

Objetivo: Apoiar tecnicamente a implementação da compulsoriedade da avaliação da conformidade quanto à eficiência energética aplicada às edificações residenciais e não residenciais, bem como a continuidade ao assessoramento técnico ao MME, PROCEL, INMETRO, CGIEE, GT-Edificações, ST-Edificações e ABNT nos assuntos relacionados ao Programa de Etiquetagem de Edificações.

- Metas:**
- Subsidiar a continuidade dos instrumentos e canais de apoio ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica), dando suporte técnico à comunidade.
 - Promover a melhoria contínua dos parâmetros, critérios e valores de referência empregados no método de etiquetagem de edificações.
 - Impulsionar a aplicação do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica).

Atividade: 6 - Apoiar tecnicamente o desenvolvimento de normas técnicas relacionadas à eficiência energética de edificações e atualização das INIs.

Produto: -

Como citar:

Geraldi, M.S., Machado, R. M. S., De Vecchi, R., Ramos, G., Bracht, M. B., Melo, A. P., Lamberts, R. Atualização dos arquivos climáticos nas normas e regulamentos relativos à eficiência energética de edificações. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. **Convênio ECTI Procel-UFSC ECV 001/2024**. CB3E-T2-RT-09. 2025. DOI: [10.5281/zenodo.16921675](https://doi.org/10.5281/zenodo.16921675)

Sumário

| | |
|--|-----------|
| Lista de Tabelas..... | 2 |
| Lista de Figuras | 3 |
| Apresentação..... | 4 |
| 1. Introdução..... | 5 |
| 2. Mapeamento dos impactos..... | 6 |
| 3. Representatividade dos arquivos climáticos | 7 |
| 4. Atualização das escalas da NBR 15575:2021..... | 10 |
| 4.1. Método | 10 |
| 4.2. Resultados..... | 12 |
| 4.2.1. Unifamiliar | 12 |
| 4.2.2. Multifamiliar | 14 |
| 4.3. Análise dos casos reprovados com a base TMYx | 17 |
| 4.4. Considerações finais..... | 19 |
| 5. Recomendações..... | 20 |
| 5.1. Para INI-C e INI-R..... | 20 |
| 5.2. Para NBR 15575:2021 | 20 |
| 6. Conclusão | 22 |
| Referências | 23 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - P-valores do teste de Wilcoxon pareado para PHFT. | 7 |
| Tabela 2 - P-valores do teste de Wilcoxon pareado para carga térmica..... | 8 |
| Tabela 3 - Arquivos considerados para cada intervalo e base climática..... | 10 |
| Tabela 4 - Caracterização dos casos reprovados com a base TMYx..... | 17 |
| Tabela 5 - Percentual de casos aprovados por critério individual com a base TMYx. | 19 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Diagrama de caixas dos resultados das simulações por tipo de arquivo climático..... | 7 |
| Figura 2 – Gráfico de densidade da radiação direta normal. | 9 |
| Figura 3 – Dispersão do metamodelo e simulações de edificação unifamiliar considerando o TMYx.2009-2023 e histograma dos resultados de simulação computacional. | 9 |
| Figura 4 – Tipologias consideradas para o desenvolvimento da base de dados..... | 10 |
| Figura 5 – Fluxograma das etapas para comparação de indicadores da NBR15575 com diferentes arquivos climáticos..... | 11 |
| Figura 6 – Histogramas do indicador $\Delta PHFT$ (a) e Carga térmica (b) para as bases climáticas INMET e TMYx. | 12 |
| Figura 7 – Gráfico de dispersão do $\Delta PHFT$ e RedCgTT entre as duas bases de arquivos. | 13 |
| Figura 8 – Matriz de confusão entre as classificações obtidas com os arquivos climáticos INMET e TMYx..... | 14 |
| Figura 9 – Histogramas do indicador $\Delta PHFT$ RedCgTT para as bases climáticas INMET e TMYx. | 15 |
| Figura 10 – Gráfico de dispersão do $\Delta PHFT$ e do RedCgTT entre as duas bases de arquivos climáticos. | 15 |
| Figura 11 – Matriz de confusão entre as classificações obtidas com os arquivos climáticos INMET e TMYx para a tipologia multifamiliar. | 16 |
| Figura 12 – Distribuição dos casos reprovados por característica construtiva e climática..... | 18 |

Apresentação

Este documento foi elaborado no âmbito do Convênio de Educação, Ciência, Tecnologia e Inovação – ECTI, celebrado entre a ENBPar (Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional), no âmbito do Procel, a UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), e a FEESC (Fundação de Ensino de Engenharia), de número de referência Nº ECV 001/2024-PROCEL-ENBPar e intitulado **DESENVOLVIMENTO DO DEO-PROCEL E SUPORTE TÉCNICO À IMPLEMENTAÇÃO DA COMPULSORIEDADE DA AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DE EDIFICAÇÕES QUANTO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL** E **“PROPOSIÇÃO DE SISTEMA DE CAPACITAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PROFISSIONAIS CERTIFICADOS COMO AUDITORES DO PBE EDIFICA.**

O convênio possui as seguintes frentes de trabalho:

- Gerenciamento do projeto;
- Trabalho I;
- Trabalho II;
- Trabalho III;
- Trabalho IV.

Este documento integra o Trabalho II. Apresenta-se neste documento o Relatório descrevendo a atualização dos arquivos climáticos nas normas e regulamentos relacionados à eficiência energética em edificações.

1. Introdução

A atualização do zoneamento bioclimático brasileiro, publicada em dezembro de 2024 por meio da NBR 15220-3, representa um avanço significativo para o aprimoramento das estratégias de projeto bioclimático no país. Com a incorporação de novos dados climáticos — mais recentes e representativos das condições atuais — a norma estabelece doze zonas bioclimáticas, subdivididas para permitir maior precisão no tratamento das variabilidades regionais de temperatura e umidade.

Essa atualização normativa marca uma transição relevante no campo da simulação termoenergética de edificações, principalmente ao adotar os arquivos climáticos do tipo TMYx como referência para análises de desempenho. No entanto, essa mudança traz implicações diretas sobre outros marcos normativos e regulatórios em vigor, como a NBR 15575 e as Instruções Normativas para etiquetagem do desempenho energético (INI-C e INI-R), que ainda fazem referência à base de dados do INMET.

Diante desse cenário, torna-se necessário avaliar os impactos técnicos da substituição dos arquivos INMET pelos arquivos TMYx, tanto em termos de representatividade climática quanto nos resultados de simulações e classificações de desempenho. Este relatório apresenta os resultados de uma série de estudos comparativos, abordando desde a representatividade estatística dos arquivos até os efeitos práticos sobre a classificação de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares. As análises visam subsidiar a compatibilização entre normas e diretrizes, apoiando tecnicamente a adoção de bases climáticas mais robustas e alinhadas às condições climáticas contemporâneas e futuras.

2. Mapeamento dos impactos

Em dezembro de 2024 foi publicado o novo zoneamento bioclimático, separando o país em seis zonas bioclimáticas, da mais fria à mais quente, determinadas em função da temperatura. Para possibilitar a definição de estratégias construtivas mais detalhadas, estas zonas bioclimáticas possuem subdivisões: as zonas frias, ZB1 e ZB2, são subdivididas em função da temperatura de inverno (inverno mais ou menos rigoroso); o restante das zonas são subdivididas em função da umidade, separando as cidades com maior umidade (A) e as de menor umidade (B).

O zoneamento foi desenvolvido a partir de uma base de dados composta por arquivos climáticos do tipo TMYx.2007-2021, mais recentes que os dados utilizados na última versão do zoneamento bioclimático. A NBR 15220-3:2024 traz uma tabela com a indicação de arquivos climáticos das cidades representativas de cada zona bioclimática, para uso em simulações termoenergéticas, especificando a estação meteorológica de onde são oriundos os dados e o tipo de arquivo climático (TMYx). Essa especificação é feita para padronizar as análises, principalmente no desenvolvimento de políticas públicas. No entanto, considerando as mudanças climáticas e a constante atualização destes arquivos, não estipulou-se um período específico do arquivo climático para uso nas simulações e análises, possibilitando a atualização periódica destes dados..

Apesar da NBR 15220-3 especificar o uso de arquivos TMYx, a norma ABNT NBR 15575-1, cujo requisito de desempenho térmico foi revisado anteriormente à publicação do zoneamento, traz como recomendação a utilização dos arquivos climáticos provenientes da base-padrão, descrita no ABNT TR 15575-1-1:2021. A lista de arquivos do TR conta com arquivos do tipo INMET. Dadas as diferenças entre estes dois arquivos, e que o atendimento aos requisitos intermediário e superior, da NBR 15575-1, é dado pelo atendimento das horas dentro de um período de temperatura, da temperatura máxima e mínima e da carga térmica, o uso de um arquivo climático diferente do recomendado pode impactar no nível de desempenho atendido pela edificação. Desta forma, é importante compatibilizar estas duas normas.

3. Representatividade dos arquivos climáticos

Como parte do Convênio ECTI ECT 001/2024 foi elaborado um estudo da representatividade climática em simulação computacional de edificações (<https://doi.org/10.5281/zenodo.15683397>). Este relatório teve como objetivo avaliar as principais bases de dados e arquivos climáticos disponíveis para a simulação energética de edificações no território nacional. Ao avaliar e comparar as diferentes bases, constatou-se divergências significativas ao utilizar a base do INMET em comparação com as demais referências. A seguir é apresentado um resumo das principais comparações e análises das diferentes bases de arquivos climáticos.

A Figura 1 apresenta diagramas de caixas para avaliar a distribuição dos indicadores de desempenho PHFT e CgTT para um conjunto de arquivos climáticos (TMYx, TRY, SWERA e INMET). Nota-se que os resultados produzidos pelo arquivo climático INMET são visualmente diferentes dos demais, em termos de distribuição de valores. Para o caso da edificação multifamiliar simulada, a demanda por carga térmica, em especial a de resfriamento, é reduzida no caso do INMET em comparação com os demais arquivos climáticos. A mediana das cargas térmicas para o arquivo INMET se aproxima do valor mínimo do segundo quartil dos demais arquivos climáticos, evidenciando essa discrepância.

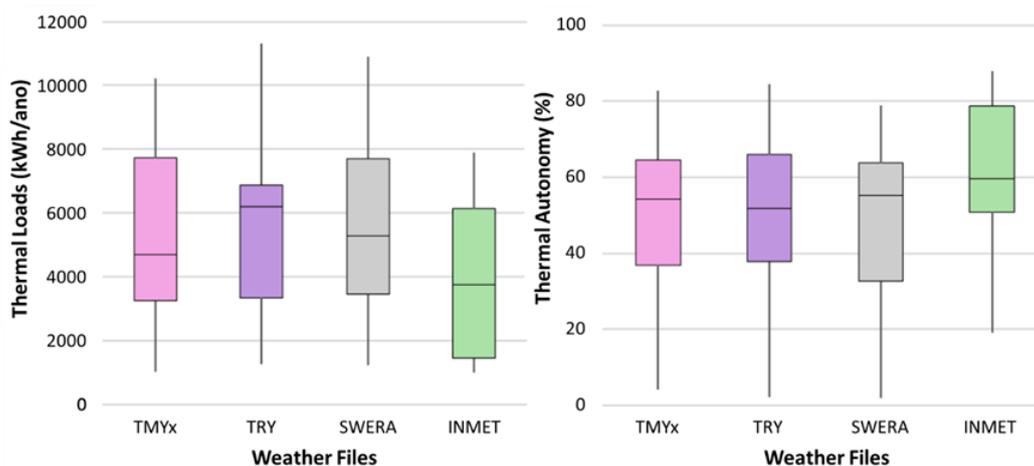


Figura 1 – Diagrama de caixas dos resultados das simulações por tipo de arquivo climático.

O desempenho anômalo do arquivo climático INMET também é observado no PHFT, que, graficamente, apresenta um diagrama de caixas bastante deslocado quando comparado aos demais, com valores máximos elevados e com o terceiro quartil acima dos demais arquivos, indicando um percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa superior, na maioria dos casos, em relação aos demais arquivos climáticos. A Tabela 1e a Tabela 2 apresentam os resultados do teste estatístico de Wilcoxon para PHFT e carga térmica, respectivamente.

Tabela 1 - P-valores do teste de Wilcoxon pareado para PHFT.

| Arquivo climático | INMET | TMYx | SWERA | TRY |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| INMET | - | 0,014 | 0,014 | 0,019 |
| TMYx | 0,014 | - | 0,43 | 1 |
| SWERA | 0,014 | 0,43 | - | 0,37 |
| TRY | 0,019 | 1 | 0,37 | - |

Tabela 2 - P-valores do teste de Wilcoxon pareado para carga térmica.

| Arquivo climático | INMET | TMYx | SWERA | TRY |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| INMET | - | 0,002 | 0,001 | 0,004 |
| TMYx | 0,002 | - | 0,37 | 0,85 |
| SWERA | 0,001 | 0,37 | - | 0,62 |
| TRY | 0,004 | 0,85 | 0,62 | - |

Nota-se que a rejeição da hipótese H_0 ocorreu apenas nos testes envolvendo os arquivos INMET. Ou seja, há evidência estatística de que a utilização dos arquivos INMET produz resultados diferentes em simulação em relação aos resultados produzidos pelos arquivos TMYx, SWERA e TRY. Em contrapartida, não há evidências de diferenças nos resultados das simulações ao usar os arquivos climáticos TMYx, SWERA e TRY. Os resultados do teste estatístico foram similares tanto para o indicador de PHFT (Tabela 1) quanto para a carga térmica (Tabela 2).

Dessa forma, optou-se por averiguar a qualidade da base TMYx desenvolvida pelo *Climate.OneBuilding.Org*, especialmente a versão mais recente, de 2009 a 2023. Para realizar uma análise exploratória inicial, foram desenvolvidos gráficos de densidade cumulativa das seguintes variáveis climáticas: temperatura de bulbo seco, umidade relativa e radiação. As bases de arquivos climáticos analisados foram: INMET, TMYx.2004-2018, TMYx.2007-2021 e TMYx.2009-2023. Essa análise permitiu verificar visualmente quais bases possuem maior similaridade, além dos maiores e menores valores de temperatura.

Para a identificação de *outliers*, foram calculados os valores limite aceitáveis para a temperatura máxima (LimMax) e mínima (LimMin). Para o limite mínimo (LimMin), foi estabelecido que a temperatura não deveria ser inferior ao percentil 0.1% dos dados de temperatura de bulbo seco horária mais o percentil 1% do conjunto de dados da diferença horária de temperatura, o qual apresenta um valor negativo. Para o limite máximo (LimMax), foi estabelecido que a temperatura não deveria exceder o percentil 99.9% dos dados de temperatura de bulbo seco horária mais o percentil 99% do conjunto de dados da diferença horária de temperatura, o qual apresenta um valor positivo.

Com base nesses métodos, concluiu-se que a base mais atualizada (TMYx.2009-2023) se assemelha à de 2007 a 2021, utilizada como base para o desenvolvimento do zoneamento bioclimático brasileiro, apresentando melhorias, reduzindo possíveis *outliers* e valores extremos. Com base nessa análise foi possível demonstrar o principal ponto de divergência dos arquivos INMET com os demais: os valores bastante subestimados de radiação direta normal (Figura 2).

Por fim, foi analisado o impacto do uso da base de arquivos TMYx.2009-2023 na acurácia do metamodelo atual da INI-C (desenvolvido utilizando a base de arquivos INMET e TMYx.2007-2021). Para isso, foi realizada uma predição de 1000 casos para 1000 localidades com o metamodelo em comparação às simulações utilizando o EnergyPlus dos casos nas mesmas localidades. A amostragem foi feita considerando como método a Sequência de Sobol. Para ambas as situações, predição do metamodelo e simulação, foram utilizados como dados de entrada as informações da base de arquivos TMYx.2009-2023.

A Figura 3 apresenta um gráfico de dispersão entre os resultados de simulação e os da predição do metamodelo do indicador de carga térmica total (kWh). É possível verificar que os resultados se aproximam de uma reta, com valores elevados de coeficientes de determinação (R^2) e baixos de RMSE. Salienta-se que os valores encontrados nesta análise foram similares aos testes realizados com a amostra de validação no

desenvolvimento do metamodelo utilizando a base de arquivos INMET e TMYx.2007-2021. Dessa forma, a base de arquivos TMYx.2009-2023 se mostrou válida para ser utilizada no metamodelo.

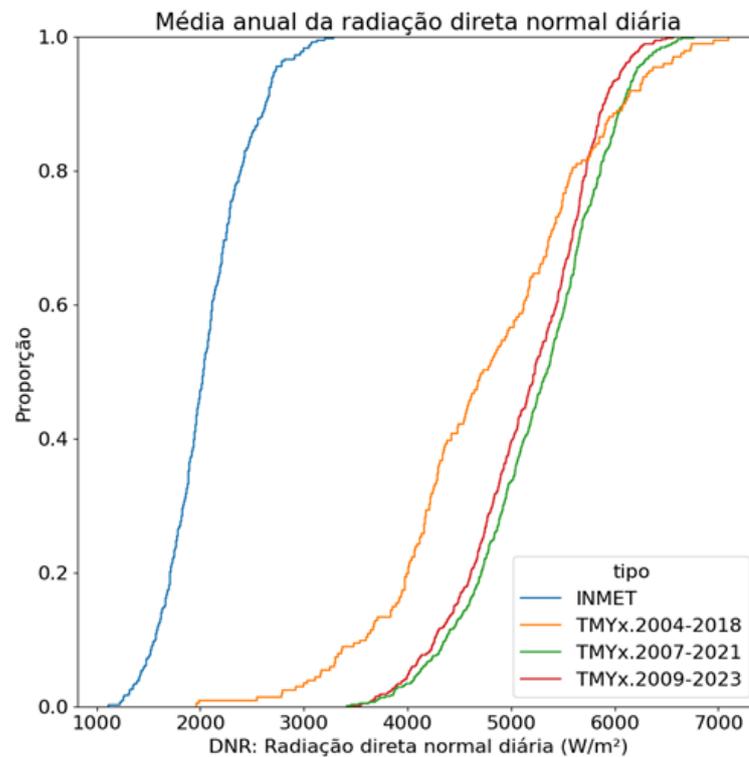


Figura 2 – Gráfico de densidade da radiação direta normal.

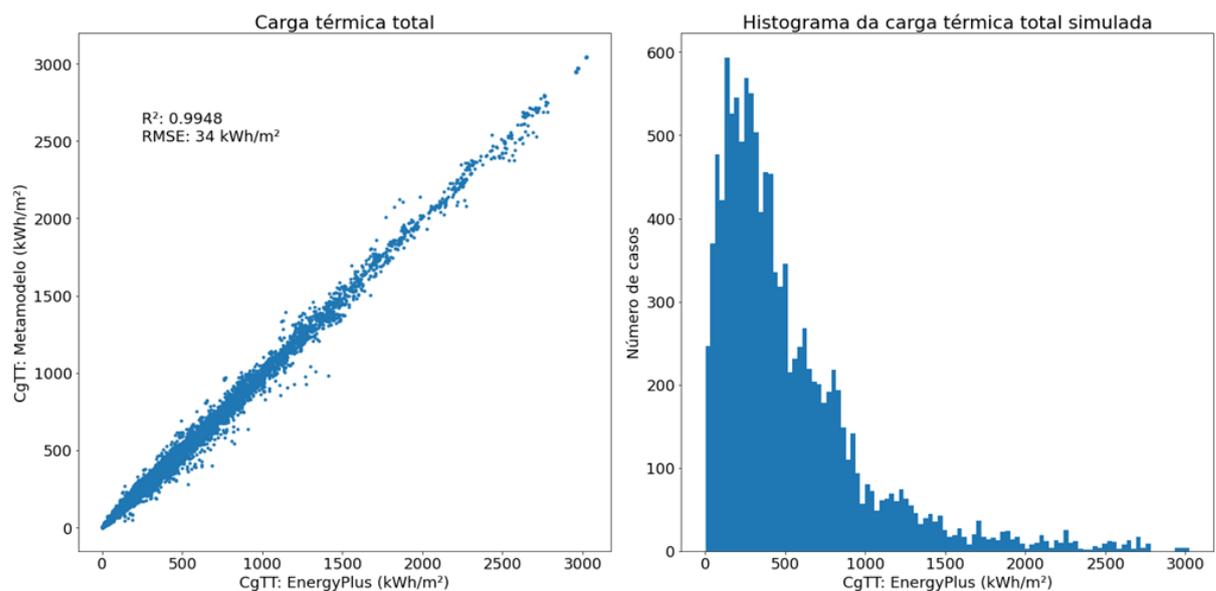


Figura 3 – Dispersão do metamodelo e simulações de edificação unifamiliar considerando o TMYx.2009-2023 e histograma dos resultados de simulação computacional.

4. Atualização das escalas da NBR 15575:2021

O objetivo desta avaliação é verificar o desempenho da escala da NBR 15575:2021 ao se utilizar arquivos climáticos do tipo TMYx.2009-2023, considerando que o Termo de Referência (TR) da norma vincula seu uso à base de dados climáticos do INMET.

4.1. Método

Para a formação da base de dados de simulação, foram consideradas duas tipologias de edificações residenciais (Figura 4): unifamiliar isolada e multifamiliar em formato H. Os arquivos de simulação, geometrias e demais características dos modelos estão disponíveis em (doi.org/10.5281/zenodo.12209190).

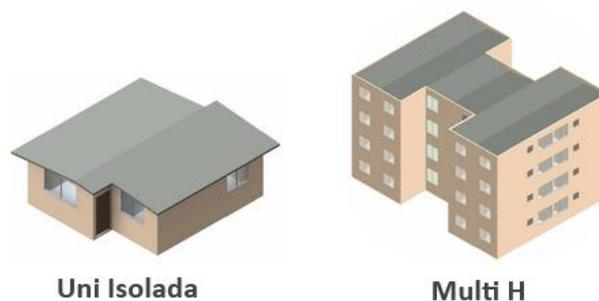


Figura 4 – Tipologias consideradas para o desenvolvimento da base de dados.

Para representar os diferentes intervalos de temperatura de bulbo seco externo definidos pela norma, foram selecionados os arquivos climáticos apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Arquivos considerados para cada intervalo e base climática.

| Intervalo | ZB | Arquivo climático INMET | Arquivo climático TMYx |
|-----------|----|---|---|
| 1 | 2M | BRA_SP_Sao.Paulo.837810_INMET.epw | BRA_SP_Sao.Paulo-Congonhas.AP.837800_TMYx.2009-2023.epw |
| 2 | 5A | BRA_PE_Recife.819580_INMET.epw | BRA_PE_Recife.819580_TMYx.2009-2023.epw |
| 3 | 6A | BRA_CE_Fortaleza-Pinto.Martins.Intl.AP.817580_INMET.epw | BRA_CE_Fortaleza.817580_TMYx.2009-2023.epw |

Com base nas duas tipologias, foram aplicadas parametrizações ao modelo base conforme listado abaixo. Isso resultou em um total de 9.600 simulações para unidades habitacionais (UHs) unifamiliares e 138.242 simulações para a tipologia multifamiliar.

Parametrizações:

- Clima: Intervalo 1, 2 e 3 (3 variações)
- Orientação: 0° e 90°: (2 variações)

- Construction parede: isol_par, leve_par, bloc_par, ref_par e conv_par (5 variações)
- Absortância paredes: 4 variações
- Construction cobertura: alve_cob, ref_cob, isol_cob e leve_cob (4 variações)
- Absortância cobertura: 4 variações
- Fator de ventilação: 0,45, 0,75 e 0,9 (3 variações)
- Sombreamento: Com e sem (2 variações)

As cargas internas, padrões de ocupação e método de simulação seguiram os critérios estabelecidos pela NBR 15575, considerando dois cenários operacionais: (i) Ambientes naturalmente ventilados e (ii) Ambientes com condicionamento artificial. Com base nos resultados de simulação, foram calculados os indicadores térmicos para os casos de referência em comparação com as parametrizações. Assim, sendo possível realizar a classificação de desempenho das unidades habitacionais conforme as categorias estabelecidas pela NBR 15575: “*Não atende*”, “*Inferior*”, “*Intermediário*” e “*Superior*”.

A Figura 5 apresenta o fluxograma das etapas adotadas para a análise comparativa entre os arquivos climáticos INMET e TMYx no contexto da classificação de desempenho térmico conforme a NBR 15575.

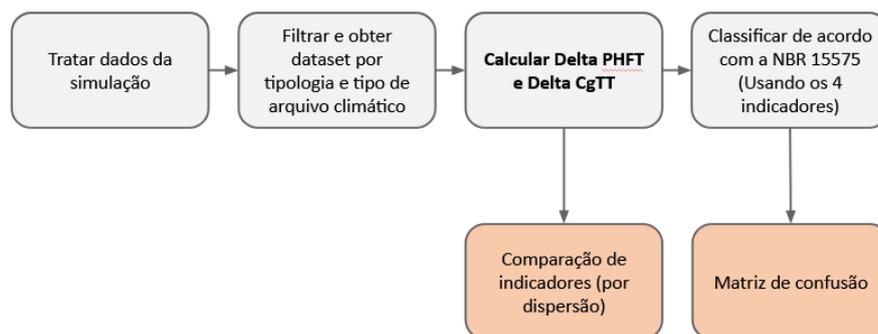


Figura 5 – Fluxograma das etapas para comparação de indicadores da NBR15575 com diferentes arquivos climáticos.

Inicialmente, os resultados de simulação foram tratados para padronização dos nomes de variáveis e casos, além da verificação de eventuais inconsistências. Em seguida, os dados foram filtrados para formar subconjuntos específicos com base na tipologia da edificação (unifamiliar ou multifamiliar) e no tipo de arquivo climático utilizado (INMET ou TMYx).

Com os dados organizados, foram calculadas as diferenças entre os valores dos indicadores PHFT (percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa) e CgTT (carga térmica total), obtidos entre o caso de referência e cada uma das parametrizações para cada UH, conforme estabelecido pelo método da NBR 15575. Esse cálculo foi realizado separadamente para cada base climática considerada:

- $\Delta\text{PHFT} = \text{PHFT}_{\text{real}} - \text{PHFT}_{\text{ref}}$
- $\text{RedCgTT} = (1 - (\text{CgTT}_{\text{real}} / \text{CgTT}_{\text{ref}})) * 100$

A partir dos resultados simulados, os indicadores exigidos pela norma ($T_{O_{Max}}$, $T_{O_{Min}}$, $\Delta PHFT$ e $RedCgTT$) foram utilizados para classificar o desempenho térmico das unidades habitacionais nas categorias estabelecidas pela NBR 15575.

As variações dos indicadores entre os dois arquivos climáticos foram então comparadas por meio de gráficos de dispersão, permitindo visualizar tendências e eventuais padrões de divergência. Por fim, foi gerada uma matriz de confusão para cada tipologia, comparando diretamente as classificações obtidas com os dois arquivos climáticos. Essa etapa permite avaliar os impactos da atualização da base climática sobre a classificação de desempenho segundo a escala proposta pela norma.

4.2. Resultados

4.2.1. Unifamiliar

A Figura 6 apresenta os histogramas respectivamente para os deltas de $\Delta PHFT$ e $RedCgTT$ ao considerar cada uma das bases climáticas.

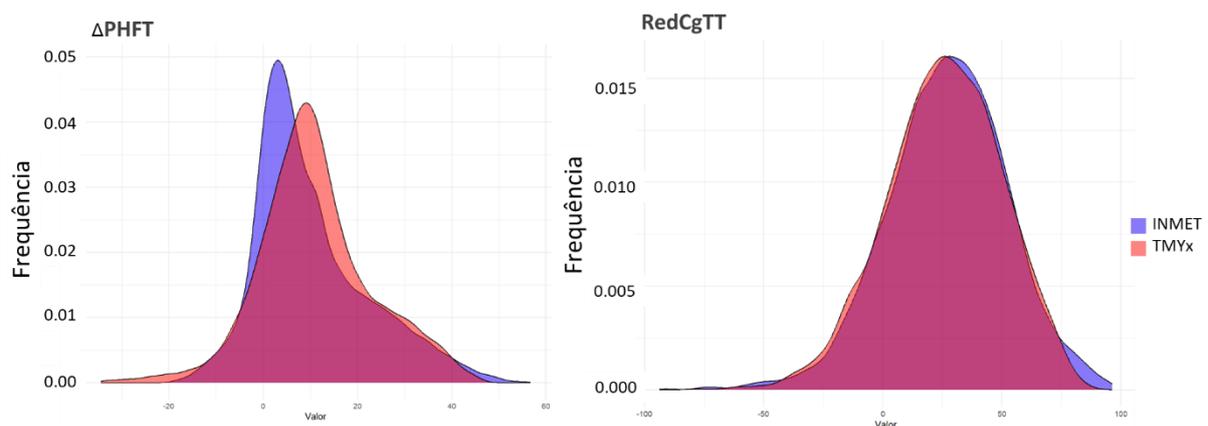


Figura 6 – Histogramas do indicador $\Delta PHFT$ (a) e Carga térmica (b) para as bases climáticas INMET e TMYx.

Na Figura 6a, observa-se um deslocamento mais acentuado do pico de frequência do indicador $\Delta PHFT$ entre as duas bases. A distribuição associada à base TMYx apresenta valores médios ligeiramente mais altos, o que indica uma maior frequência de casos com maiores diferenças entre o valor real e referência.

Na Figura 6b, referente ao indicador $RedCgTT$, a diferença entre as distribuições é menos pronunciada. Ainda assim, nota-se uma menor frequência de casos com reduções próximas a 100% na base TMYx. Esse comportamento indica que, sob essa base climática, há uma maior dificuldade em eliminar completamente a carga térmica adicional por meio do uso de estratégias passivas.

A Figura 7 apresenta os gráficos de dispersão das diferenças dos indicadores $\Delta PHFT$ e $RedCgTT$, entre as simulações realizadas com as bases INMET e TMYx. A linha tracejada vermelha representa a bissetriz (linha de referência onde os valores seriam idênticos nas duas bases).

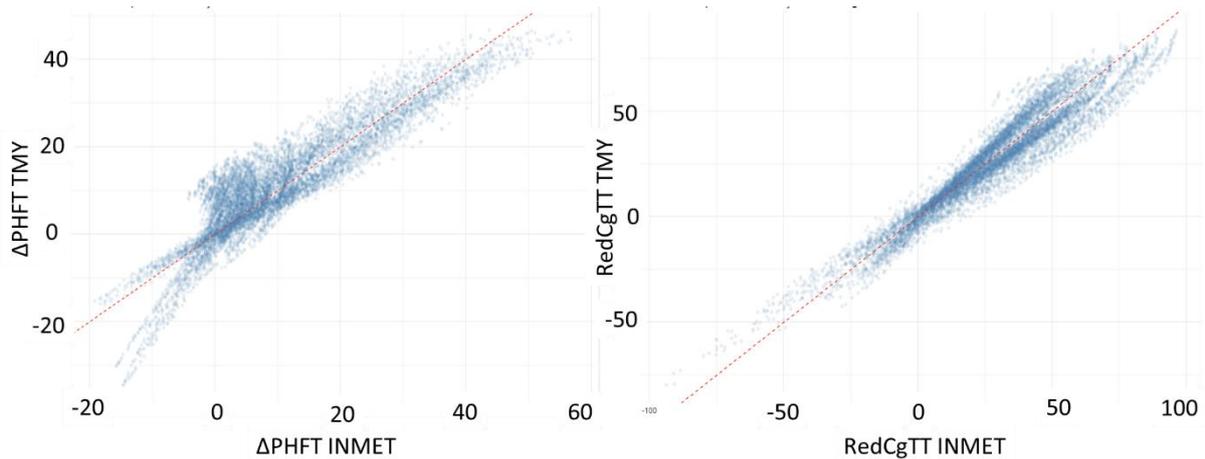


Figura 7 – Gráfico de dispersão do Δ PHFT e RedCgTT entre as duas bases de arquivos.

Na Figura 7a, observa-se que a maior parte dos pontos está acima da bissetriz, indicando que os ganhos de PHFT em relação ao caso de referência são, em geral, maiores sob a base TMYx. Ou seja, determinadas parametrizações (como absorvância menor ou maior ventilação) tendem a resultar em mais horas dentro da faixa de temperatura aceitável sob os arquivos climáticos TMYx.

Na Figura 7b, há uma boa aderência à bissetriz. Isso indica que os ganhos relativos à redução da carga térmica, comparados ao caso de referência, são similares nas duas bases climáticas.

Esses resultados indicam que: (i) o indicador Δ PHFT sugere que os ganhos de conforto com estratégias passivas são, em média, ligeiramente mais altos sob a base TMYx, o que pode favorecer classificações melhores nesse aspecto e (ii) o indicador RedCgTT mostra consistência entre as bases, evidenciando que o desempenho relativo das estratégias de redução de carga térmica é robusto à troca de base climática.

A Figura 8 apresenta a matriz de confusão entre as classificações obtidas considerando a base de arquivos climáticos TMYx e INMET, com os percentuais calculados em relação ao total de UHs.

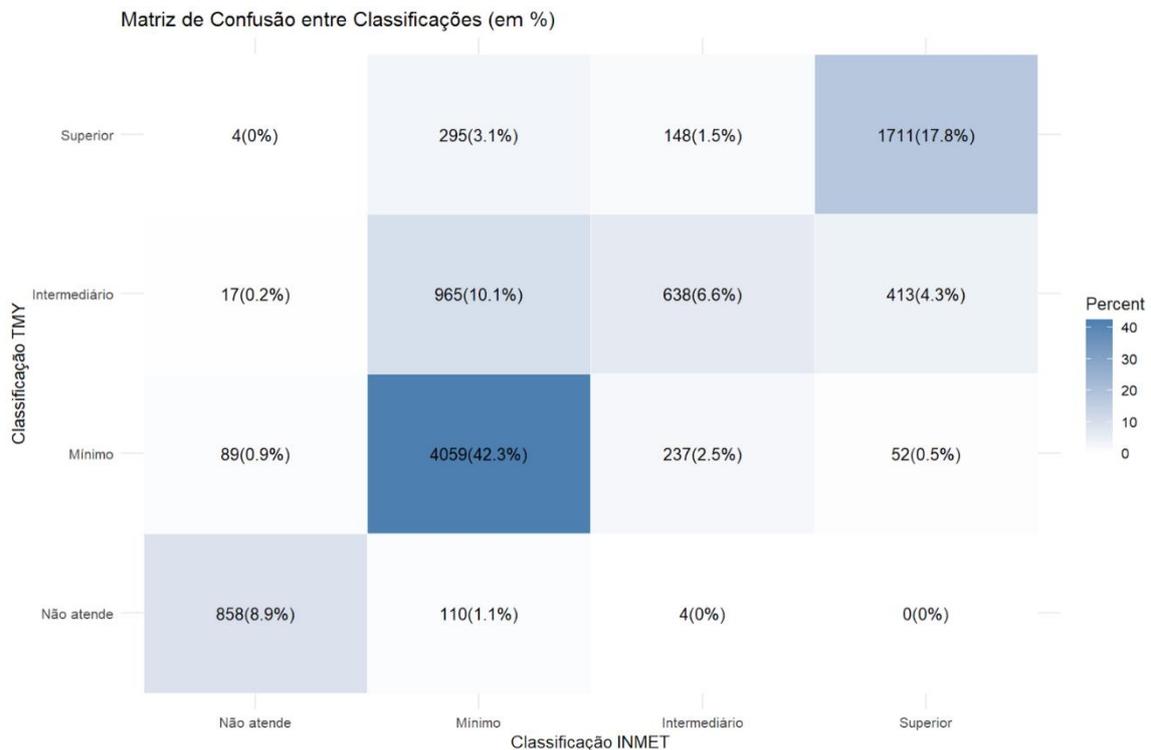


Figura 8 – Matriz de confusão entre as classificações obtidas com os arquivos climáticos INMET e TMYx..

O percentual de classificações coincidentes entre as duas bases (elementos da diagonal principal) é de 75,6%, o que indica um nível elevado de consistência entre os métodos de classificação, mesmo após a atualização da base climática. O maior grau de concordância ocorre na categoria Mínimo, que concentra 42,3% dos casos classificados igualmente em ambas as bases.

Por outro lado, 15,8% dos casos foram classificados como "melhores" quando utilizada a base TMYx, ou seja, a nova base atribuiu uma classificação superior àquela obtida com a base INMET. Esses casos aparecem acima da diagonal na matriz, e podem estar relacionados ao comportamento do indicador PHFT, que apresentou, em média, ganhos mais expressivos sob a base TMYx.

Já os falsos-negativos, ou seja, os casos em que a base TMYx atribui uma classificação inferior à da base INMET, correspondem a 8,6% do total e estão representados abaixo da diagonal.

4.2.2. Multifamiliar

Para os casos considerando a tipologia multifamiliar, a Figura 9 apresenta os histogramas dos indicadores Δ PHFT e RedCgTT, respectivamente, calculados com base nas simulações realizadas com os arquivos climáticos INMET e TMYx.

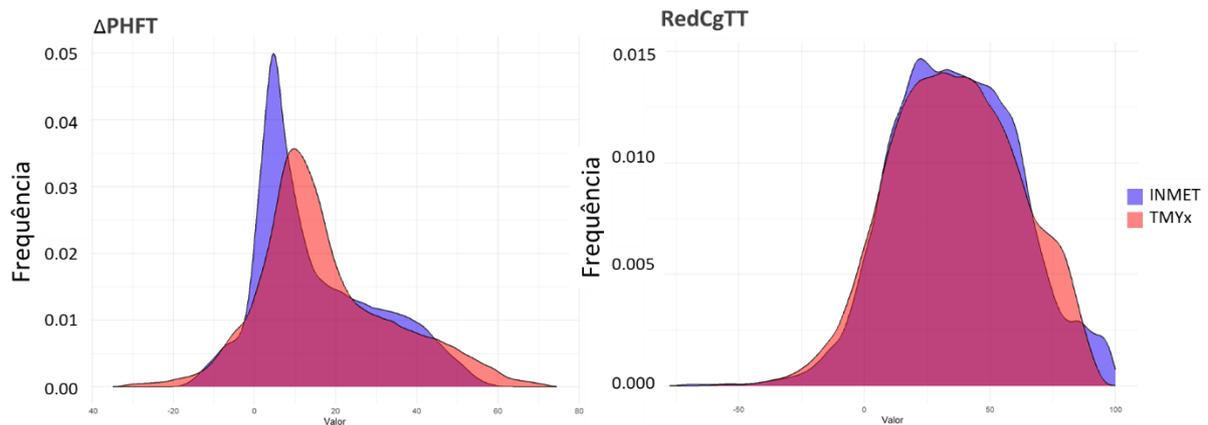


Figura 9 – Histogramas do indicador $\Delta PHFT$ RedCgTT para as bases climáticas INMET e TMYx.

Assim como observado na tipologia unifamiliar, verifica-se na Figura 9 um deslocamento da curva associada à base TMYx para a direita, indicando que, em média, os casos simulados com essa base apresentaram maior ganho em PHFT em relação ao caso de referência. Esse comportamento reforça a tendência de que o clima TMYx favorece, em termos relativos, a eficácia de determinadas soluções construtivas.

No caso do indicador RedCgTT, observa-se novamente a redução da concentração de casos com valor igual a 100% para a base TMYx. Isso sugere uma maior dificuldade de anular completamente a carga térmica adicional nos cenários simulados com essa base, indicando menor facilidade de atingir desempenho máximo com estratégias passivas.

A Figura 10 apresenta os gráficos de dispersão dos mesmos indicadores, possibilitando a comparação direta dos deltas obtidos com cada base climática.

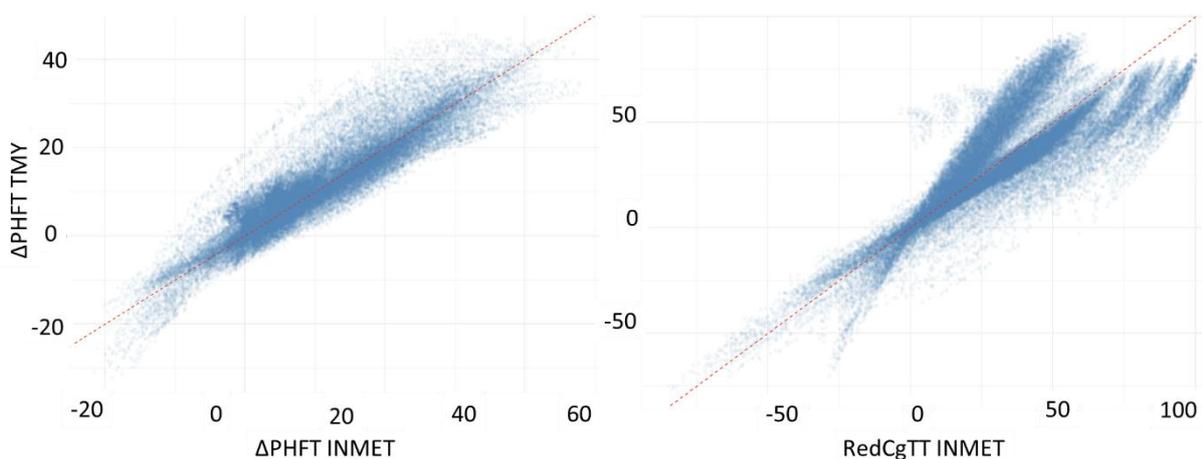


Figura 10 – Gráfico de dispersão do $\Delta PHFT$ e do RedCgTT entre as duas bases de arquivos climáticos.

Na Figura 10a, observa-se uma maior dispersão dos pontos em torno da bissetriz, quando comparado à tipologia unifamiliar. Essa variabilidade pode ser atribuída à diversidade de exposições e orientações das

UHs dentro da edificação multifamiliar, o que torna o comportamento térmico mais heterogêneo, especialmente em função da interação entre sombreamento e ventilação natural.

Já na Figura 10b, o gráfico de dispersão do RedCgTT revela a formação de dois agrupamentos. Um mais próximo da bissetriz, indicando boa concordância entre as bases, e outro com inclinação mais acentuada em relação ao eixo horizontal, indicando que, para um subconjunto de casos, a base TMYx proporcionou maior ganho relativo de desempenho térmico. Esse comportamento sugere que o desempenho de algumas estratégias pode ser mais sensível à base climática em determinadas configurações da edificação multifamiliar.

A Figura 11 apresenta a matriz de confusão entre as classificações de desempenho térmico obtidas para a tipologia multifamiliar, utilizando as bases climáticas INMET e TMYx. Os valores estão expressos também em percentual relativo ao total de UHs simuladas.

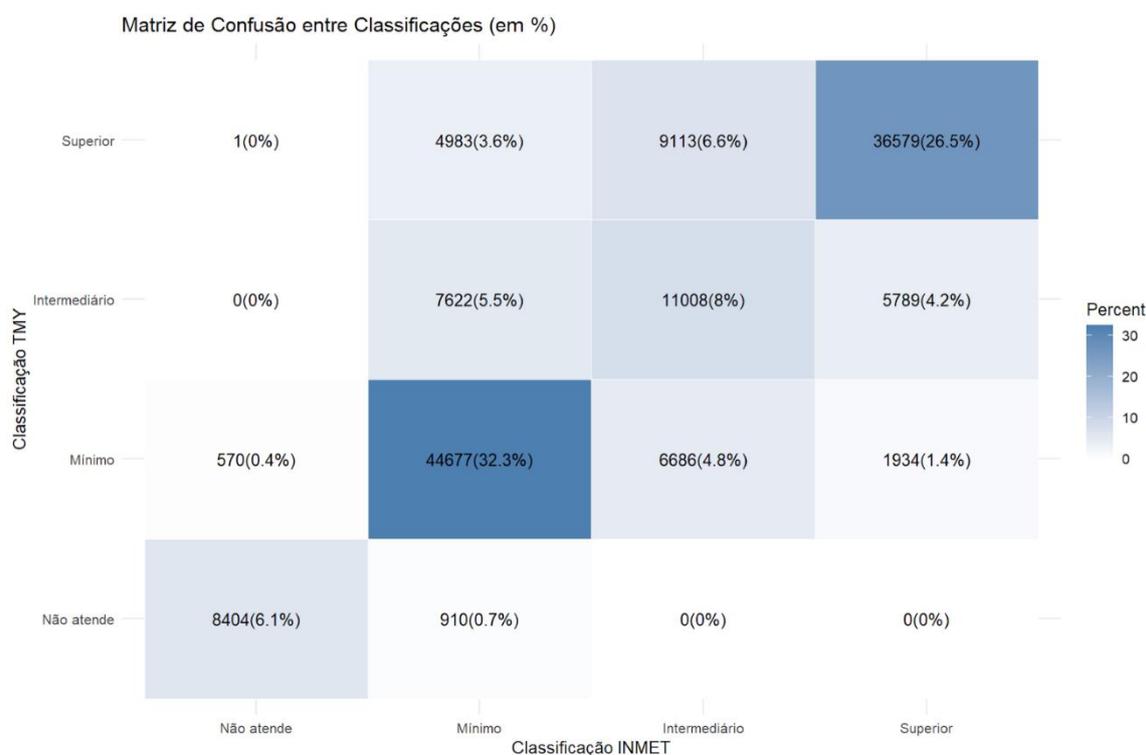


Figura 11 – Matriz de confusão entre as classificações obtidas com os arquivos climáticos INMET e TMYx para a tipologia multifamiliar.

O percentual de classificações coincidentes entre as duas bases climáticas é de 72,8%, indicando um grau elevado de consistência, embora ligeiramente inferior ao observado na tipologia unifamiliar. A maior concentração ocorre na categoria Mínimo (32,3% do total), o que novamente aponta para uma robustez da escala da norma nesse intervalo de desempenho.

Destaca-se que 20,3% dos casos foram classificados como "melhores" com a base TMYx (falso-positivos), o que sugere que essa base tende a favorecer levemente as classificações finais em comparação à INMET. Essa tendência de melhoria é especialmente visível na transição de Intermediário para Superior, e de Mínimo para Intermediário ou Superior.

Por outro lado, os falsos-negativos (casos em que a classificação com TMYx foi inferior à obtida com INMET) representam apenas 6,9%, reforçando a ideia de que o uso da base TMYx raramente penaliza o desempenho térmico das unidades simuladas em comparação à base INMET.

Vale destacar que a NBR 15575 estabelece escalas distintas para diferentes pavimentos em edificações multifamiliares, com subdivisões específicas para térreo, tipo e cobertura. De forma resumida, a taxa de correspondência entre as classificações obtidas com INMET e TMYx em cada um desses pavimentos foi de:

- 70,36% para UHs no pavimento térreo
- 68,73% para UHs no pavimento tipo
- 75,88% para UHs na cobertura

4.3. Análise dos casos reprovados com a base TMYx

A seguir, apresenta-se uma análise detalhada dos casos que atendiam ao desempenho mínimo com a base de arquivos climáticos INMET, mas que passaram a não atender quando simulados com a base TMYx. No total, essa mudança afetou 910 unidades habitacionais da tipologia multifamiliar e 114 da tipologia unifamiliar.

A Tabela 4 caracteriza os principais atributos desses casos da tipologia multifamiliar, buscando identificar padrões construtivos associados à perda de atendimento. Os valores para a tipologia unifamiliar foram bastante semelhantes, seguindo a mesma lógica e sequência de importância.

Tabela 4 - Caracterização dos casos reprovados com a base TMYx.

| Critério | Categoria | % de casos afetados |
|--------------------------|------------------|----------------------------|
| Intervalo | 1 | 40.9 |
| | 2 | 31.9 |
| | 3 | 27.0 |
| Tipo de Parede | isol_par | 48.6 |
| | leve_par | 19.2 |
| | bloc_par | 17.9 |
| | ref_par | 7.5 |
| | conv_par | 6.7 |
| Tipo de Cobertura | alve_cob | 33.3 |
| | ref_cob | 28.5 |
| | isol_cob | 22.9 |
| | leve_cob | 15.1 |

| Critério | Categoria | % de casos afetados |
|---------------------|-----------|---------------------|
| Fator de Ventilação | 0.45 | 68.5 |
| | 0.75 | 25.9 |
| | 0.9 | 5.5 |
| Sombreamento | Não | 96.0 |
| | Sim | 4.0 |

A Figura 12 apresenta a distribuição dos casos rodados com arquivo TMYx e que foram reprovados na classificação, considerando suas características construtivas e climas.

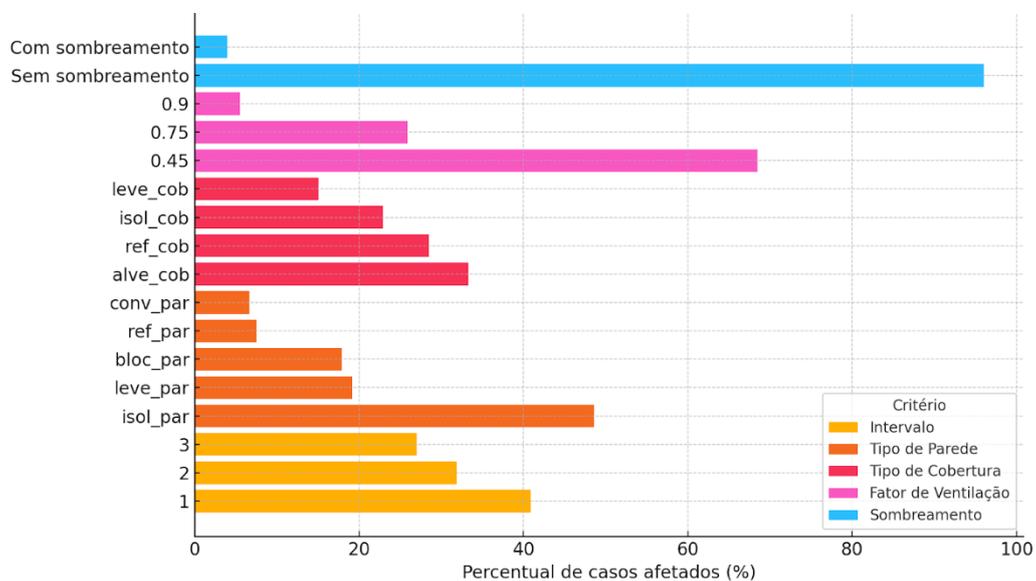


Figura 12 – Distribuição dos casos reprovados por característica construtiva e climática.

É possível notar que a maior parte dos casos reprovados com a base TMYx está associada ao fator de ventilação mais reduzido e, principalmente, à ausência de sombreamento. Esse comportamento pode estar relacionado à maior qualidade e detalhamento da radiação solar nos arquivos TMYx, que consideram melhor a componente de radiação direta normal.

Conforme discutido anteriormente, os arquivos do INMET tendem a apresentar valores subestimados de radiação direta, o que reduz a sensibilidade do modelo ao efeito de dispositivos de sombreamento. Com a base TMYx, o sombreamento passa a exercer influência mais significativa sobre os resultados térmicos, penalizando os casos em que ele está ausente.

A Tabela 5 apresenta o percentual de casos que atendem a cada um dos critérios de desempenho térmico exigidos pela NBR 15575, considerando a nova base climática.

Tabela 5 - Percentual de casos aprovados por critério individual com a base TMYx.

| Critério | % de casos passantes |
|-----------------|-----------------------------|
| PHFT | 0.0 |
| TOMax | 50.9 |
| TOMin | 99.1 |

Os dados mostram que o principal fator de reprovação dos casos com a base TMYx é o PHFT, que não foi atendido em nenhum dos casos afetados. O critério TOMax também representa uma barreira para cerca de metade dos casos, enquanto o TOMin é praticamente sempre atendido.

4.4. Considerações finais

A análise evidenciou que a taxa de correspondência entre as classificações obtidas com as bases INMET e TMYx foi elevada em todas as tipologias e pavimentos avaliados:

- 75,60% para edificações unifamiliares
- 70,36% para UHs no pavimento térreo (edificações multifamiliares)
- 68,73% para UHs no pavimento tipo (edificações multifamiliares)
- 75,88% para UHs na cobertura (edificações multifamiliares)

Além disso, observou-se uma tendência consistente de melhoria na classificação ao utilizar os arquivos TMYx. Os chamados falsos-positivos (casos em que a classificação foi superior com TMYx em comparação ao INMET) representaram entre 15% e 20% dos casos, dependendo da tipologia.

Por outro lado, os falsos-negativos (situações em que a classificação caiu ao adotar a base TMYx) foram pouco frequentes, representando entre 6% e 9% dos casos. Em análise mais aprofundada desses casos, constatou-se que a reprovação se deu quase exclusivamente por falha no critério PHFT. O principal fator associado a essa falha foi a ausência de dispositivos de sombreamento, o que se alinha à maior fidelidade da radiação direta normal nos arquivos TMYx, tornando as simulações mais sensíveis à proteção solar. Importante destacar que menos de 1% das simulações totais se enquadram nessa condição específica de reprovação, e todos esses casos envolviam a ausência de sombreamento.

Em síntese:

- A base TMYx mostrou-se compatível com os critérios da NBR 15575, mantendo elevado grau de coerência com os resultados obtidos com a base INMET.
- A substituição tende a ser positiva ou neutra na maioria dos casos, sem induzir a reprovações sistemáticas.
- Os poucos casos reprovados com TMYx revelam cenários críticos, relacionados à ausência de sombreamento.

5. Recomendações

5.1. Para INI-C e INI-R

Com base no exposto, é recomendável que as INIs (tanto para as edificações residenciais, INI-R, quanto comerciais e públicas, INI-C) adotem formalmente os arquivos TMYx.2009-2023 em substituição aos arquivos do INMET e versões anteriores do TMYx (como a de 2007–2021) como base climática de referência para as simulações e uso das interfaces do metamodelo. A base TMYx.2009-2023 demonstrou maior representatividade climática, melhor qualidade estatística (com menor presença de *outliers*) e validação robusta com simulações comparadas às demais bases (EnergyPlus vs. metamodelo).

Considerando os impactos identificados nas classificações da NBR 15575 (com mudança de faixa de desempenho para 15,8% das UHs no caso unifamiliar e 20,3% no multifamiliar), é recomendável que as escalas de classificação da INI-R associadas ao conforto térmico ($\Delta PHFT$) e à carga térmica (RedCgTT) sejam revisitadas, buscando manter a coerência entre os níveis de exigência atuais (baseados nos resultados com o INMET) e a nova base climática. Esta revisão pode acompanhar as discussões relacionadas ao novo metamodelo em testes, que provavelmente demandará modificações no texto da INI-R e manuais de aplicação relacionados.

Além disso, recomenda-se que os textos das INIs sejam revisados, determinando que os estudos, análises referentes à etiquetagem e demais dados baseados em simulação sejam conduzidos utilizando os arquivos TMYx.2009-2023 em substituição aos arquivos do INMET. Atualmente, existem duas citações aos arquivos INMET no texto da Portaria 309/22: a primeira relacionada à tabela de temperaturas do ar externo para as diferentes cidades brasileiras utilizadas para o cálculo do consumo de energia para o aquecimento de água (INI-C e R); e a segunda relacionada à simulação de iluminação natural (INI-C).

A partir da mudança dos indicadores climáticos utilizados nas interfaces dos metamodelos (atualmente as planilhas dos metamodelos da INI-C e INI-R estão formatadas com os indicadores calculados a partir dos arquivos do INMET), é recomendável que todos os exemplos de avaliações expostos nos manuais de aplicação da INI-C e INI-R publicados recentemente sejam também revisados, com especial atenção aos novos resultados e classificações obtidas.

5.2. Para NBR 15575:2021

A avaliação do desempenho térmico da NBR 15575-1, pelo método de simulação, é determinada pelo atendimento de quatro requisitos: percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura (PHFT), temperaturas operativas anuais máxima (Tomáx,UH) e mínima (Tomín,UH) e redução de carga térmica. Com base nas análises realizadas para os diferentes arquivos climáticos (TMYx e INMET), percebe-se que a diferença na qualidade dos dados entre os arquivos impactam nos resultados obtidos nas simulações, podendo influenciar os resultados. No entanto, as análises mostraram elevada taxa de correspondência entre as classificações obtidas com as bases INMET e TMYx.

Considerando a melhor qualidade dos arquivos TMYx, a possibilidade de maior atualização deste formato de arquivos com dados mais atuais e a correspondência entre os resultados das classificações, recomenda-se a substituição dos arquivos base utilizados nas avaliações da NBR 15575. No entanto, esta

alteração implica na revisão dos limites de classificação dos quatro requisitos para avaliação do desempenho térmico das edificações, adequando os requisitos ao novo zoneamento e ao arquivo climático. A partir desta alteração, também será necessário atualizar a base de dados descritas no ABNT NBR TR 15575-1-1, substituindo os arquivos do tipo INMET pelos arquivos do tipo TMYx. Na revisão do TR, sugere-se também a inclusão das estações meteorológicas de cada um dos arquivos recomendados.

6. Conclusão

As análises realizadas ao longo deste relatório evidenciam a relevância e a robustez técnica da base de arquivos climáticos TMYx.2009–2023 como referência para simulações termoenergéticas de edificações no Brasil. Os testes de representatividade, as comparações estatísticas e os resultados obtidos nas simulações demonstram que essa base apresenta maior qualidade de dados, maior fidelidade à realidade climática atual e reduzida presença de valores extremos, quando comparada à base INMET atualmente utilizada por normas como a NBR 15575 e as Instruções Normativas do PBE Edifica.

Apesar de diferenças pontuais nos indicadores de desempenho térmico, especialmente no critério PHFT, a taxa de correspondência entre as classificações obtidas com ambas as bases foi superior a 70% para todas as tipologias e pavimentos avaliados. Ademais, verificou-se uma tendência positiva de melhoria na classificação com o uso da base TMYx, sem ocorrência de penalizações sistemáticas. Os poucos casos em que houve reprovação com TMYx estavam majoritariamente associados à ausência de sombreamento e ventilação natural insuficiente — fatores coerentes com o maior detalhamento dos dados de radiação solar presentes nessa base climática.

Diante desses resultados, recomenda-se a adoção formal da base TMYx.2009–2023 como referência normativa para simulações termoenergéticas e processos de etiquetagem. Essa transição exige, contudo, a revisão das escalas de desempenho e dos parâmetros normativos associados, de modo a garantir consistência com os níveis de exigência originalmente estabelecidos com a base INMET.

Por fim, a adoção de bases climáticas mais atualizadas e alinhadas ao novo zoneamento bioclimático é essencial para fortalecer a credibilidade das análises de desempenho, promover a harmonização normativa e fomentar políticas públicas mais eficazes e adaptadas à realidade climática brasileira em constante transformação.

Referências

- ABNT. **NBR 15220-3:2024. Desempenho térmico de edificações — Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024.
- ABNT. **NBR 15575:2021. Edificações habitacionais — Desempenho.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas técnicas, 2024.
- Bracht, M. B.; Machado, R. M. S.; Geraldi, M.S.; Bavaresco, M. V.; Melo, A. P.; Lamberts, R. Estudo da Representatividade Climática em Simulação Computacional de Edificações. **Relatório técnico de Projeto de Pesquisa do Convênio ECTI Procel-UFSC ECV 001/2024.** Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14674972>.
- BRASIL. **Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro).** Portaria nº 309, de 1º de julho de 2022. *Aprova os Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Desempenho Energético de Edificações.* Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 125, p. 69, 4 jul. 2022.
- LabEEE, Veiga, C., Bagio, J., Geraldi, M., Triana, M. A., Ana Paula, M., Lamberts, R. **Reference Models for Brazilian Social Housing Pre-2023.** Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. Projeto Hab.LabEEE. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12209191>
- LabEEE, Veiga, C., Bagio, J., Nathalia, C., Triana, M. A., Geraldi, M., Ana Paula, M., Lamberts, R. **Reference Models for Brazilian Social Housing Post-2023.** Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12209404>
- RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros.** Disponível em: <https://roriz.dominiotemporario.com/doc/Sobre_os_arquivos_EPW.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2025.