

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO E
PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL

Escola de Arquitetura

Helder Gattoni Medeiros

Método simplificado de avaliação de conforto térmico para ambientes ventilados naturalmente ou híbridos do INI-C: desempenho e limitações

Belo Horizonte
fevereiro, 2022

Helder Gattoni Medeiros

Método simplificado de avaliação do conforto térmico para ambientes ventilados naturalmente ou híbridos do INI-C: desempenho e limitações

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais.

Área de concentração: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável

Linha de Pesquisa: Tecnologia

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Belo Horizonte

fevereiro, 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

M488m

Medeiros, Helder Gattoni.

Método simplificado de avaliação do conforto térmico para ambientes ventilados naturalmente ou híbridos do INI-C [manuscrito] : desempenho e limitações / Helder Gattoni Medeiros. - 2022.

98 f. : il.

Orientadora: Roberta Vieira Gonçalves de Souza.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Conforto térmico - Teses. 2. Energia elétrica - Consumo - Teses. 3. Ventilação - Teses. I. Souza, Roberta Vieira Gonçalves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 697.92



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL

FOLHA DE APROVAÇÃO

"Método simplificado de avaliação de conforto térmico para ambientes ventilados naturalmente ou híbridos do INI-C: desempenho e limitações"

HELDER GATTONI MEDEIROS

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia nove de fevereiro de dois mil e vinte e dois, pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Aldomar Pedrini

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Profa. Dra. Ana Carolina de Oliveira Veloso

Centro Universitário Una (UNA)

Profa. Dra. Raquel Diniz Oliveira

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)

Profa. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza - Orientadora

PPG-ACPS/UFMG

Belo Horizonte, 09 de fevereiro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por Ana Carolina de Oliveira Veloso, Usuário Externo, em 09/05/2022, às 10:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Raquel Diniz Oliveira, Usuário Externo, em 09/05/2022, às 15:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Roberta Vieira Gonçalves de Souza, Professora do Magistério Superior, em 09/05/2022, às 17:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Aldomar Pedrini, Usuário Externo, em 13/05/2022, às 09:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1244931 e o código CRC 9727BDDD.

AGRADECIMENTOS

À professora e orientadora Roberta Vieira Gonçalves de Souza pela alegria, leveza e entusiasmo na transmissão dos conhecimentos.

À professora Raquel Diniz Oliveira e ao professor Aldomar Pedrini pelas contribuições feitas no exame de qualificação.

À professora Ana Carolina Veloso pelas consultorias de EnergyPlus e INI-C.

Às colegas do Labcon, em especial à Marina, Claudia e Gêssica, sempre prontas a ajudar.

Às comissões CICE e OASIS, que estão possibilitando a aplicação dos conhecimentos adquiridos durante o mestrado, contribuindo para o meu crescimento profissional.

Aos colegas do mestrado que proporcionaram momentos alegres e contribuíram no meu desenvolvimento durante o curso, em especial à Marília, Ana Júlia, Júlio e Daniel.

Ao PPG-ACPS pelo apoio durante a jornada, especialmente ao Daniel Brito sempre comprometido em auxiliar na resolução dos contratempos.

Aos colegas do DPP/PRA, em especial à Daniele pelo auxílio na obtenção das informações no acervo documental do departamento e à Diretora Renata por ter contribuído na concessão da licença para o desenvolvimento da pesquisa.

À minha família sempre alegre e presente na minha vida.

À minha amada esposa Fernanda que me deu força para iniciar, continuar e terminar essa jornada, compreendendo meus momentos de ausência.

Muito Obrigado!

RESUMO

A necessidade de implementar medidas para a mitigação do consumo de energia elétrica das edificações no país levou à criação do RTQ-C em 2009. Embora o Brasil possua muitas edificações naturalmente ventiladas, o RTQ-C é fortemente orientado para edificações que possuem sistemas de ar-condicionado. Em 2021 o Governo Brasileiro publicou um aprimoramento para o RTQ-C renomeando-o para INI-C que, dentre outras alterações, apresenta método simplificado de avaliação do percentual de horas em conforto térmico (PHOCT) para espaços naturalmente ventilados. Este trabalho, então, tem como objetivo analisar a aplicabilidade e as eventuais limitações deste método utilizando como estudo de caso edificações do *campus* Pampulha da UFMG. Para tal avaliou-se a possibilidade de aplicação do método em edificações de geometrias diversas e comparou-se os resultados desse método com resultados obtidos através de simulação com o *software* EnergyPlus. As 82 edificações consideradas de interesse para o estudo foram divididas em três grupos de acordo com a aplicabilidade do método com relação aos aspectos geométricos, sendo eles: 1) aplicável, 2) aplicável com ajustes e 3) não aplicável. Observamos que 16% das edificações pertencem ao grupo 1, 61% ao grupo 2 e 23% ao grupo 3. Caso os limites de transmitância térmica e absorvância da cobertura e limite da variação entre APPs também sejam levados em consideração, apenas 1 edificação atenderia aos limites do metamodelo (1,2%). As edificações do grupo 1 resultaram em PHOCT entre 53% e 97% sendo que as edificações com maiores densidades de ocupação e ambientes internos pequenos tenderam a ter os piores resultados e aquelas com menores transmitâncias térmicas da cobertura tenderam a ter os melhores resultados. Além disso, o método simplificado foi aplicado com modificações em 3 edificações que pertencem ao grupo 2 e os resultados foram comparados com simulações computacionais. As diferenças percentuais no PHOCT variaram entre 2% e 6%, o que foi considerado um resultado satisfatório para o método simplificado mesmo com os ajustes que se fizeram necessários. Por ora, consideramos o novo método capaz de promover uma avaliação geral de soluções de ventilação natural nas edificações, mas para isso deve-se avaliar ajustes aceitáveis em seus parâmetros de entrada de forma a ampliar sua aplicação.

Palavras-chave: RTQ-C. INI-C. EnergyPlus. Eficiência Energética. Simulação.

ABSTRACT

The need to implement measures to mitigate the buildings electricity consumption in the country led to the creation of the RTQ-C in 2009. Although Brazil has many naturally ventilated buildings, the RTQ-C is strongly oriented towards buildings that have air-conditioned systems. In 2021, the Brazilian Government published an improvement to the RTQ-C, renaming it to INI-C which, among other changes, presents a simplified method for evaluating the percentage of hours in thermal comfort (PHO_{Ct}) for naturally ventilated spaces. In this research the aim is to analyze the applicability and possible limitations of this method, using UFMG's buildings located in Pampulha campus as a case study. For this purpose, the possibility of applying the method in buildings of different geometries was evaluated and the results of this method was compared with results obtained through simulation with EnergyPlus software. The 82 buildings considered of interest for the study were divided into three groups according to the applicability of the method: 1) applicable, 2) applicable with adjustments, and 3) not applicable. It was observed that 16% of the buildings belong to group 1, 61% to group 2 and 23% to group 3. If limits of cover thermal transmittance and absorbance and variation between APP are also taken into account, only 1 building would meet the limits of the metamodel (1.2%). Buildings in group 1 had their PHO_{Ct} evaluated with results ranging between 53% and 97%, and the buildings with higher occupancy densities and smaller indoor spaces tended to have worst results and those with lower thermal roof transmittance tended to have the best results. In addition, the simplified method was applied with modifications in 3 buildings from group 2 and the results were compared with computer simulations. The percentage differences in the PHO_{Ct} ranged between 2% and 6%, which was considered a satisfactory result for the simplified method, even with the necessary adjustments. For now, the new method is considered capable of promoting a general assessment of natural ventilation solutions in buildings, but for that, acceptable adjustments in its input parameters must be evaluated to expand its application.

Keywords: RTQ-C. INI-C. EnergyPlus. Energy Efficiency. Simulation.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1– Participação setorial no consumo de eletricidade | 18 |
| Figura 2 – Divisão dos países que consideram energia primária e energia final nas normas de etiquetagem..... | 23 |
| Figura 3– Evolução da Etiquetagem de Edifícios Comerciais, Públicos e de Serviços no Brasil | 24 |
| Figura 4– Combinação de métodos disponíveis para a etiquetagem de edificações comerciais, de serviços e públicas para edificações condicionadas artificialmente (CA) e ventiladas naturalmente (VN)..... | 25 |
| Figura 5– Exemplo de divisão em zonas térmicas (a) para edificações com largura superior a 9,00 m e (b) para edificações com largura inferior a 9,00 m. | 27 |
| Figura 6 – Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória atendidos pelo método simplificado..... | 28 |
| Figura 7 – Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória atendidos pelo método simplificado para o aproveitamento da ventilação natural..... | 29 |
| Figura 8 – Interface web para cálculo do FHdesc | 34 |
| Figura 9 – Relação entres parâmetros do INI-C e FHdesc | 35 |
| Figura 10 – Temperaturas operativas aceitáveis para ambientes naturalmente ventilados | 36 |
| Figura 11 – Etapas Metodológicas da Pesquisa | 39 |
| Figura 15 – Exemplos de modelos gerados | 41 |
| Figura 13 – Dados de entrada fixados pela Portaria INMETRO nº 248/2018..... | 43 |
| Figura 14 – Edificações simuladas..... | 47 |
| Figura 15 – Consumo de energia elétrica anual da UFMG | 52 |
| Figura 16 – Despesa anual da UFMG com energia elétrica..... | 52 |
| Figura 17 – Vista aérea de diversas edificações do Campus da UFMG | 53 |
| Figura 18 – Exemplos de volumetrias encontradas nas Edificações do Campus da UFMG..... | 54 |
| Figura 19 – Fachada do anexo do IGC com janelas de correr com brise | 57 |
| Figura 20 – Planta 2º pavimento do CAD1, estreita e longa com janelas em posição opostas as portas..... | 57 |
| Figura 21 – Variação de Temperatura x zona de conforto (ASHRAE 55) para o clima de Belo Horizonte..... | 58 |

| | |
|---|----|
| Figura 22 – Variação da Temperatura ao longo do dia para o clima de Belo Horizonte | 58 |
| Figura 23 – Aplicabilidade do método simplificado (percentual da amostra)..... | 60 |
| Figura 24 – Restrições na aplicação do metamodelo x Quantidade de ocorrências . | 61 |
| Figura 25 – Plantas do Bloco N do ICB (2011)..... | 61 |
| Figura 26 – Plantas do Bloco Biblioteca da FACE (2003) | 62 |
| Figura 27 – Imagem do Anexo Dança da EBA..... | 63 |
| Figura 28 – Motivos de não aplicação x Quantidade de ocorrências | 64 |
| Figura 29 – Plantas do Departamento de Física do ICB (2004)..... | 65 |
| Figura 30 – Indicação do ajuste realizado na largura da edificação..... | 67 |
| Figura 31 – Imagem do ICB com o Bloco H em destaque | 68 |
| Figura 32 – Corte com diferentes valores de pé direito do Anexo 2 da FAE | 70 |
| Figura 33 – Indicação do ajuste realizado na profundidade e largura da edificação . | 70 |
| Figura 34 – PHOCT do Anexo Dança da EBA com marcação do percentual de conforto obtido por simulação | 71 |
| Figura 35 – PHOCT do Bloco H do ICB por simulação | 72 |
| Figura 36 – PHOCT do Bloco 2 da FAE por simulação..... | 72 |
| Figura 37 – Fechamento típico do Bloco 13 da VET | 76 |
| Figura 38 – Laje dos blocos do ICB | 77 |
| Figura 39 – Comparação dos resultados: Simulação x Metamodelo para o Anexo Dança da EBA..... | 78 |
| Figura 40 – Comparação dos resultados: Simulação x Metamodelo para o Bloco H do ICB | 79 |
| Figura 41 – Comparação dos resultados: Simulação x Metamodelo para o Bloco 2 da FAE | 80 |
| Figura 42 – Níveis de Conforto Térmico das edificações avaliadas do Campus Pampulha | 81 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Parâmetros de entrada do Metamodelo e limites de cada variável - Continua | 30 |
| Tabela 2 – Tabela para definição do parâmetro 31 do Metamodelo. | 31 |
| Tabela 3 – Tabela para definição do parâmetro 32 do Metamodelo. | 31 |
| Tabela 4 – Tabela para definição do parâmetro 37 do Metamodelo. | 32 |
| Tabela 5 – Dados de entrada relativos ao arquivo climático INMET para Belo Horizonte utilizados no método simplificado..... | 44 |
| Tabela 6 – Parâmetros ajustados para utilização do Metamodelo - Continua..... | 45 |
| Tabela 7 – Características das edificações simuladas..... | 48 |
| Tabela 8 – proposição de ajustes para aumento da aplicabilidade do Metamodelo - Continua | 63 |
| Tabela 9 – Estimativa da fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação obtida metamodelo para edificações do Grupo 1..... | 66 |
| Tabela 10 – Estimativa da fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação obtida pelo metamodelo para o Anexo Dança da EBA. | 68 |
| Tabela 11 – Estimativa da fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação obtida metamodelo | 69 |
| Tabela 12 – Estimativa da fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação obtida metamodelo para o Anexo Dança da EBA..... | 70 |
| Tabela 13 – comparação entre os valores de PHOCt obtidos pelo metamodelo e por simulação computacional | 74 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | | |
|--------|---|--|
| ASHRAE | - | <i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> |
| BEN | - | Balanço Energético Nacional |
| CAD 1 | - | Centro de Atividades Didáticas Ciências Naturais |
| CAD 2 | - | Centro de Atividades didáticas ciências Humanas |
| CAD 3 | - | Centro de atividades didáticas 3 |
| CCAE | - | Consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar |
| CCAT | - | Consumo de energia térmica do sistema de condicionamento de ar |
| CDD18 | - | Graus-dia de arrefecimento para temperatura base de 18°C |
| CDD25 | - | Graus-dia de arrefecimento para temperatura base de 25°C |
| CgT | - | Carga térmica interna de refrigeração |
| CgTT | - | Carga térmica total anual da edificação proveniente da envoltória |
| CO2 | - | Dióxido de carbono |
| COLTEC | - | Colégio Técnico |
| EBA | - | Escola de Belas Artes |
| EEFFTO | - | Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional |
| EHFh | - | <i>Exceedance hour fraction for hot limit</i> |
| EHFc | - | <i>Exceedance hour fraction for could limit</i> |
| EMU | - | Escola de Música |
| ENCE | - | Etiqueta Nacional de Conservação de Energia |
| ENG | - | Escola de Engenharia |
| FACE | - | Faculdade de Ciências Econômicas |
| FAE | - | Faculdade de Educação |

| | | |
|---------|---|--|
| FAFAR | - | Faculdade de Farmácia |
| FAFICH | - | Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas |
| FALE | - | Faculdade de Letras |
| FHdesc | - | Fração anual de horas de desconforto por calor |
| FS | - | Fator solar |
| FUMP | - | Fundação Universitária Mendes Pimentel |
| HVE | - | Hospital Veterinário |
| ICB | - | Instituto de Ciências Biológicas |
| ICEX | - | Instituto de ciências Exatas |
| IGC | - | Instituto de Geociências |
| INI-C | - | Instrução Normativa Inmetro – Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas |
| INMET | - | Instituto Nacional de Meteorologia |
| Inmetro | - | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia |
| IPBES | - | <i>Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services</i> |
| LabEEE | - | Laboratório de Eficiência Energética em Edificações |
| MPOG | - | Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão |
| MRDH | - | Média anual da radiação solar difusa no plano horizontal |
| MRDR | - | Média anual da radiação solar direta normal |
| ODONTO | - | Faculdade de Odontologia |
| PAZ | - | Percentual de abertura zenital |
| PBE | - | Programa Brasileiro de Etiquetagem |
| PHOCT | - | Percentual de horas ocupadas em conforto térmico |
| PMV | - | <i>Predicted mean vote</i> |
| RTQ-C | - | Regulamento Técnico de Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas |

| | | |
|----------|---|--|
| SLTI | - | Secretaria de Logística, Tecnologia e Informação |
| SPLV | - | Eficiência energética do sistema condicionamento de ar |
| Tar | - | Temperatura média externa anual |
| TarMA | - | Diferença entre o valor máximo e mínimo das temperaturas externas anuais |
| TarMD | - | Média anual das diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas de cada dia |
| Tneut | - | Temperatura operacional neutra |
| Tpma,o | - | Temperatura média predominante do ar exterior |
| UA1 | - | Unidade Administrativa I |
| UA2 | - | Unidade Administrativa II |
| UA3 | - | Unidade Administrativa III |
| UFMG | - | Universidade Federal de Minas Gerais |
| VET | - | Escola de Veterinária |
| VMV | - | Velocidade média do ar externo anual |
| WWRnoite | - | Fração de abertura da fachada das janelas destinadas à ventilação noturna |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1. Objetivo geral..... | 15 |
| 1.1.1. Objetivos específicos | 16 |
| 1.2. Objeto de Estudo | 16 |
| 1.3. Estrutura do Trabalho | 16 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 18 |
| 2.1. O consumo energético e as edificações | 18 |
| 2.2. Ventilação Natural e Conforto Térmico em Ambientes Escolares..... | 19 |
| 2.3. Evolução da etiquetagem de edificações não residenciais no Brasil | 20 |
| 2.4. Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (INI-C)..... | 24 |
| 2.4.1. Avaliação da Envolvória | 25 |
| 2.4.1.1. Método Simplificado..... | 27 |
| 2.4.1.2. Metamodelo para determinação da Fração de Horas em Desconforto por calor (FHdesc) | 30 |
| 2.4.1.3. Condição de Conforto: ASHRAE 55 | 35 |
| 2.4.1.4. Método de Simulação | 37 |
| 3. METODOLOGIA..... | 38 |
| 3.1. Contextualização do problema e do estudo de caso | 39 |
| 3.1.1. Revisão de literatura | 40 |
| 3.1.2. Determinação do Estudo de Caso | 40 |
| 3.2. Levantamento de dados e triagem..... | 40 |
| 3.2.1. Levantamento das edificações..... | 40 |
| 3.2.2. Exclusão das edificações sem interesse para a pesquisa | 40 |
| 3.2.3. Agrupamento das edificações quanto a aplicabilidade do Metamodelo.... | 41 |
| 3.3. Estudo de Caso | 42 |
| 3.3.1. Avaliação do clima de Belo Horizonte..... | 43 |
| 3.3.2. Aplicação do Método Simplificado nas edificações do Grupo 1..... | 43 |
| 3.3.3. Ampliação da aplicabilidade do Metamodelo | 44 |
| 3.4. Análise dos Resultados..... | 49 |
| 3.4.1. Níveis de conforto térmico das edificações da UFMG em relação ao clima | 49 |
| 3.4.2. Vantagens e limitações do Metamodelo em relação à simulação..... | 49 |
| 3.4.3. Avaliar o tempo economizado com o Metamodelo em relação à simulação | 49 |
| 3.4.4. Comparar resultados de PHOCt da simulação com o Metamodelo..... | 50 |

| | |
|---|----|
| 4. ESTUDO DE CASO..... | 50 |
| 5. RESULTADOS | 56 |
| 5.1. Clima de Belo Horizonte | 56 |
| 5.2. Edificações consideradas para o estudo de caso | 59 |
| 5.3. Verificação da aplicabilidade do Método Simplificado | 59 |
| 5.4. Aplicação do Metamodelo – Grupo 1 | 65 |
| 5.5. Ampliação da aplicabilidade do Metamodelo - Grupo 2..... | 66 |
| 5.5.1.1. Anexo Dança da EBA..... | 66 |
| 5.5.1.2. Bloco H do ICB..... | 68 |
| 5.5.1.3. Bloco 2 da FAE | 69 |
| 5.5.3. Anexo Dança da EBA | 72 |
| 5.5.4. Bloco H do ICB | 73 |
| 5.5.5. Bloco 2 da FAE | 73 |
| 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 75 |
| 7. CONCLUSÕES | 84 |
| 7.1. Limitações na Realização do Estudo | 85 |
| 7.2. Sugestões para Trabalhos Futuros..... | 85 |
| REFERÊNCIAS | 86 |
| APÊNDICE A - LEVANTAMENTO DAS EDIFICAÇÕES DO CAMPUS PAMPULHA DA UFMG..... | 91 |
| APÊNDICE B – PARÂMETROS DE ENTRADA DO METAMODELO PARA AS EDIFICAÇÕES AVALIADAS | 94 |
| APÊNDICE C – PHOCt DOS EDIFÍCIOS ANALISADOS POR SIMULAÇÃO | 95 |
| ANEXO I – ITEM C.I.1 DO INI-C - CARACTERÍSTICAS DO PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA SIMULAÇÃO TERMO ENERGÉTICA | 98 |

1. INTRODUÇÃO

O Brasil lançou, em 2009, o Regulamento Técnico de Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) publicado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) que é o responsável pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Esse regulamento teve como objetivo criar condições para avaliar o nível de eficiência das edificações (BRASIL, 2013).

Com a ampla implementação dos mecanismos de avaliação de eficiência energética em edificações, estima-se que o Brasil tenha o potencial de reduzir em 50% o consumo de novas edificações e 30% das edificações que recebem reformas por meio da aplicação dos conceitos de eficiência energética (PROCELINFO, 2021), assim como ocorreu na Comunidade Europeia em que uma redução de até 60% foi verificada nos Estados Membros (WONG; KRÜGER, 2017), e a implementação de métodos simplificados podem contribuir nesse sentido.

O RTQ-C é fortemente orientado para edifícios mecanicamente climatizados (RACKES; MELO; LAMBERTS, 2016), embora no Brasil haja muitas edificações que tendem a ser naturalmente ventiladas no setor comercial, de serviços e público. Em seu método de avaliação, o sistema de ar-condicionado tem um peso final de aproximadamente 70% na definição do nível de eficiência energética de uma edificação (RACKES; MELO; LAMBERTS, 2016), sendo aproximadamente 40% diretamente, pela eficiência do sistema de ar-condicionado, e 30% indiretamente, por meio da avaliação da envoltória da edificação. Há métodos simplificados de avaliação para o sistema de ar-condicionado e para a envoltória, baseados em valores tabelados e equações desenvolvidas através de regressões lineares. Estes sistemas também podem ser avaliados por meio de simulações termo energéticas. Menos de 18% das edificações etiquetadas pelo RTQ-C, de julho de 2009 a março de 2022, usaram o método de simulação, indicando a dificuldade de utilização deste método (BRASIL, 2020).

Esta situação se agrava quando se trata de edificações ventiladas naturalmente ou mistas, para as quais a única forma de avaliação é por meio da simulação computacional. Escolas, universidades públicas e postos de saúde são exemplos de edifícios que utilizam a ventilação natural como seu principal meio de condicionamento do ar no país.

A simulação computacional é uma representação simplificada da realidade, ainda assim é considerada a forma mais flexível e completa de avaliar questões relacionadas à eficiência energética de edificações (CARLO; LAMBERTS, 2010). Mas para obter uma simulação com resultados confiáveis, é necessário um grande investimento financeiro e de tempo, além de demandar profissionais experientes e bem capacitados (HENSEN; LAMBERTS, 2011).

Em 2018, o governo brasileiro abriu a Consulta Pública nº 248 de 10 de julho, com o objetivo de aprimorar o RTQ-C (BRASIL, 2018). A proposta de aprimoramento o renomeou para Instrução Normativa do Inmetro – Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (INI-C) e foi publicado em fevereiro de 2021, trazendo um novo método que utiliza diretamente o consumo de energia da edificação como parâmetro de avaliação e comparando-o com condições de referência. Para cada item avaliado é possível utilizar tanto um método simplificado quanto o método de simulação (BRASIL, 2021a).

Uma edificação é considerada energeticamente mais eficiente do que outra quando fornece a mesma condição de conforto ambiental para o ocupante, com um consumo energético menor (LAMBERTS, 2014). Nesse sentido, edificações com condicionamento natural devem provar que alcançam as condições de conforto térmico quando não estão usando sistemas mecânicos de condicionamento.

Portanto, o Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico (PHO_{Ct}), tem grande importância na avaliação de edificações passivas, mas a simulação para obter os resultados é complexa devido a definições de rotinas de abertura e fechamento das portas e janelas, horários de ocupação e de uso da iluminação artificial e de equipamentos. Necessita ainda da inserção de dados construtivos da edificação com a informação das propriedades termofísicas de cada material utilizado na edificação, demandando, assim, tempo e conhecimento por parte de especialistas, o que pode desencorajar a indústria de construção a avaliar o desempenho de edificações naturalmente ventiladas.

No caso de edificações naturalmente ventiladas, a inovação da INI-C é a proposta de um método simplificado capaz de estimar o PHO_{Ct}, com a entrada de parâmetros simplificados relacionados ao clima e às características da edificação (RACKES; MELO; LAMBERTS, 2016). Este percentual entra posteriormente na diminuição do consumo de energia estimado para o sistema de condicionamento de ar. Ou seja, é

considerado que, quando as condições de conforto térmico são atendidas, o sistema de ar condicionado estará desligado para fins de contabilização do consumo de energia deste sistema na edificação em análise.

O método simplificado utiliza um metamodelo proposto por Rackes, Melo e Lamberts (2016) que tem como objetivo promover a validação de estratégias que utilizam a ventilação natural em edificações para obtenção de conforto térmico tais como em edifícios escolares e de escritório, facilitando sua classificação.

Promover a utilização da ventilação natural é importante, especialmente em climas amenos nos quais o potencial de obtenção de conforto a partir de estratégias passivas é alto. Dois estudos realizados em Belo Horizonte, que possui clima ameno do tipo Cwa, com verões quentes e invernos suaves, confirmaram que a utilização da ventilação natural em torres de escritórios consegue diminuir em até 59% o consumo de energia elétrica por área quando comparado ao uso de ar-condicionado central (ALVES *et al.*, 2017; VELOSO *et al.*, 2017). Tem-se ainda que as edificações que utilizam a ventilação natural apresentam melhores condições de se adaptarem às mudanças climáticas dando liberdade ao usuário de controlarem tipo de vestimenta, horários flexíveis de trabalho, instalação de ventiladores e abertura das janelas (KWOK; RAJKOVICH, 2010).

Em uma avaliação preliminar foi verificado pelo autor que o INI-C apresenta faixas limite para os parâmetros de entrada e que podem limitar a representação de edificações. O objetivo deste trabalho, portanto, foi analisar a viabilidade de aplicação em larga escala do método simplificado de análise do Percentual de Horas Ocupadas em Conforto, por meio de estudos de caso.

Esta análise é importante visto que o Metamodelo foi desenvolvido especificamente para analisar edifícios escolares e de escritórios e o presente estudo aplica em um *campus* universitário, que possui significativa quantidade e tipos de edificações que podem ser avaliados por este método.

1.1. Objetivo geral

Analisar a aplicabilidade do método simplificado de avaliação do conforto térmico para ambientes ventilados naturalmente ou híbridos do INI-C, discutindo seu desempenho e limitações por meio de estudo de caso aplicado às edificações do *Campus* Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais.

1.1.1. Objetivos específicos

- Investigar o Metamodelo do INI-C para avaliação do percentual de horas em conforto térmico em edificações naturalmente ventiladas.
- Levantar as características volumétricas e construtivas das edificações da UFMG.
- Levantar quais edificações do *Campus* Pampulha da UFMG podem ter o nível de conforto térmico de seus ocupantes avaliado por meio do método simplificado do INI-C.
- Dividir as edificações da UFMG em grupos de acordo com a aplicabilidade do método de avaliação do conforto térmico em edificações naturalmente ventiladas, sendo eles: 1 aplicável, 2 aplicável com ajustes e 3 não aplicável.
- Avaliar o Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico (PHOCT) das edificações do grupo 1 por meio do método simplificado do INI-C.
- Avaliar o Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico (PHOCT) de três edificações do grupo 2 por meio do método simplificado do INI-C e por simulação computacional.
- Comparar os resultados obtidos por meio da simulação com os obtidos pelo método simplificado.
- Levantar as vantagens e limitações da aplicação do método simplificado do INI-C em relação à simulação termoenergética.
- Propor eventuais sugestões para ampliação do uso do método simplificado.

1.2. Objeto de Estudo

O objeto de estudo são edificações do *campus* Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), localizado em Belo Horizonte. O *campus* Pampulha possui 111 edificações implantadas em uma área total de 3.340.000 m² sendo 452.617 m² de área construída. As edificações foram construídas entre 1960 e 2018, possuindo, assim, grande variedade de tipologias e de técnicas de construção.

1.3. Estrutura do Trabalho

Esta dissertação foi dividida em oito capítulos. A Introdução apresenta a justificativa do trabalho, a contextualização do problema, objetivos e objeto de estudo. O

capítulo 2 apresenta o referencial teórico utilizado para o desenvolvimento da pesquisa. O capítulo 3 apresenta o processo metodológico proposto. No capítulo 4, são caracterizadas as edificações da UFMG, objeto investigado. O capítulo 5 apresenta os resultados, o capítulo 6 apresenta a análise dos resultados e o capítulo 7 apresenta as conclusões, as limitações do trabalho e as propostas para trabalhos futuros. Por fim, são apresentadas as referências utilizadas para a elaboração deste documento, os Apêndices “A”, “B” e “C” e o Anexo I.

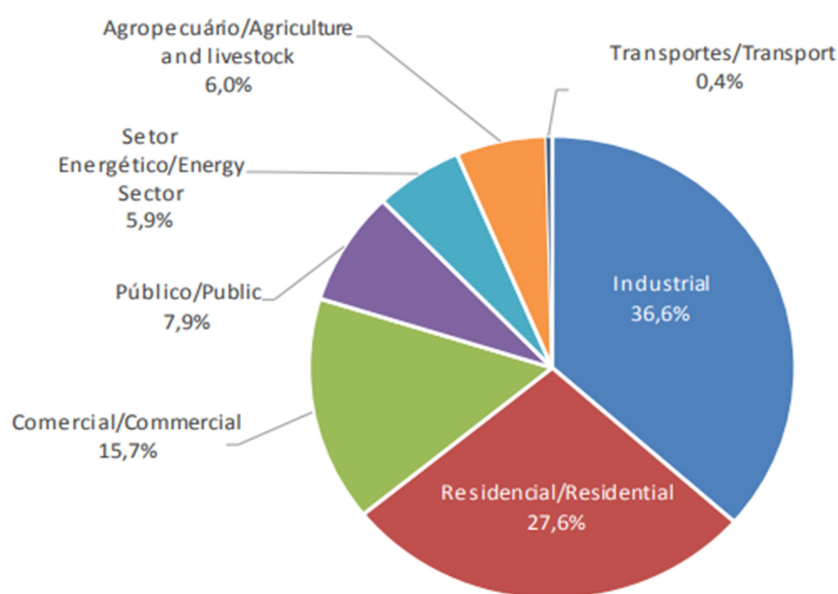
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão da bibliografia sobre os seguintes temas relacionados a edificações: consumo energético; conforto térmico; ventilação natural; Programa de Brasileiro de Etiquetagem.

2.1. O consumo energético e as edificações

A construção e operação de edifícios foi responsável pelo consumo de cerca de 36% da energia global e foi responsável por 40% das emissões de CO₂ do planeta em 2017 (IEA, 2018). No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, os setores público e comercial consumiram juntos 23,6% de toda energia elétrica consumida no país conforme demonstrado na Figura 1 (BRASIL, 2021b).

Figura 1– Participação setorial no consumo de eletricidade



Fonte: Brasil, 2021b.

As decisões arquitetônicas que definem como será a interface da edificação com o meio externo podem aumentar ou diminuir significativamente a eficiência energética da edificação, que segundo Lamberts *et al.* (2014), pode ser entendida como um atributo da edificação que representa o seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo energético.

Veloso e Souza (2018) analisaram o consumo energético de 102 edificações de escritórios em Belo Horizonte e encontraram em sua amostra que a decisão sobre o

tipo de sistema de condicionamento de ar a ser usado na edificação é a variável mais impactante no seu consumo energético, podendo até dobrar o consumo de energia por área, quando centrais de ar-condicionado são utilizadas em detrimento a sistemas tipo split ou com ventilação natural em climas como o da cidade. As autoras colocaram ainda que outras decisões, como as arquitetônicas, também exercem influência significativa no consumo das edificações comerciais, de serviços e públicas, tais como relação entre área de janela e paredes externas, absorvância das paredes externas e coeficiente de ganho solar dos vidros (VELOSO *et al.*, 2017).

2.2. Ventilação Natural e Conforto Térmico em Ambientes Escolares

O ambiente da sala de aula e o conforto térmico têm um papel importante no ensino e aprendizado, favorecendo o engajamento dos estudantes nas atividades que promovem o entendimento dos conceitos, a capacidade de resolução de problemas e as atitudes em relação ao aprendizado (PUTTEH *et al.*, 2012). Tem-se ainda que a qualidade do ar dos ambientes é um fator importante para saúde, o conforto e a produtividade das populações das áreas desenvolvidas, visto que as pessoas passam a maior parte do tempo dentro de edificações (ALMEIDA; FREITAS, 2014). Estudos demonstraram que uma ventilação adequada pode diminuir o risco de contaminação por doenças transmitidas pelo ar como diversos vírus causadores de doenças respiratórias, incluindo o COVID-19, principalmente em edifícios públicos, ambientes de trabalho, escolas, hospitais e asilos (MORAWSKA; MILTON, 2020), por este motivo a UFMG publicou o “Protocolo de biossegurança e adequação do espaço físico na UFMG” com recomendações para o funcionamento da universidade. Com relação à ventilação, o documento indicou a utilização de ambientes com boa ventilação, mantendo porta e janelas abertas em ambientes que não utilizam ar-condicionado (UFMG, 2020b).

Os sistemas de ventilação natural operam a partir de fluxos conduzidos pela força da gravidade, sem consumo de energia e voltaram a ganhar importância como escolha para a ventilação de construções, se apresentando como característica fundamental no projeto de edificações energeticamente eficientes. Escolas necessitam de níveis adequados de conforto ambiental, sendo que, quando bem projetada, a ventilação natural pode oferecer solução factível em áreas que não sejam afetadas por

poluição do ar ou sonora. Entretanto, salas de aula frequentemente apresentam temperaturas inadequadamente altas para seus ocupantes, mesmo em países frios; as razões mais comuns são as baixas taxas de ventilação que não são suficientes para remover a carga de calor em excesso gerada pelos ocupantes e o calor radiante que entra através das janelas. Neste sentido, a ventilação natural pode ser usada não somente para promover uma qualidade de ar aceitável, mas também para reduzir o uso de ar-condicionado e o consumo energético nas edificações (BÁEZ *et al.*, 2017).

Vários estudos sobre conforto térmico têm sido realizados em climas diferentes e podem ser divididos em duas categorias principais de acordo com a abordagem utilizada: 1) estudos utilizando modelos de conforto racionais, como o modelo *predicted mean vote* (PMV) e 2) estudos que utilizam modelos adaptativos de conforto térmico, como o proposto por De Dear e Brager em 1998 que foi posteriormente incorporado pela ASHRAE no *standard 55* (HARBICH *et al.*, 2018). Em estudo realizado na Índia, em um local com clima quente e úmido, foi observada uma ampla zona de conforto de 9,4°C (de 22,1°C a 31,5°C) para 80% de conforto dos ocupantes demonstrando que eles têm boa adaptação ao meio em ambientes naturalmente ventilados (MISHRA; RAMGOPAL, 2015). Em Madagascar, localizado em uma região tropical, foi observado que mais de 80% dos ocupantes se sentiram confortáveis, em edificações residenciais e escolares, quando as temperaturas do ambiente naturalmente ventilado estavam entre 24°C e 28°C (NEMATCHOUA *et al.*, 2018).

Báez *et al.* (2017) concluíram que a ventilação natural é uma estratégia factível e sustentável para reduzir o consumo energético em edificações escolares e ainda pode ser usada como estratégia para resfriamento passivo dos ambientes gerando uma redução significativa no consumo de energia. Entretanto, particularidades locais devem ser consideradas no momento do projeto, pois a ventilação natural é afetada pela localização da edificação, tipo de construção, ventos dominantes, tipo de janela e sua posição na fachada e pelo entorno.

2.3. Evolução da etiquetagem de edificações não residenciais no Brasil

Após o racionamento de energia elétrica ocorrido em 2001, foi criada a Lei nº 10.295/2001 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional

de Energia. O seu objetivo foi tornar o consumo de energia mais eficiente e preservar o meio ambiente estabelecendo níveis mínimos de eficiência energética para equipamentos e criação de mecanismos para promover a eficiência energética nas edificações construídas no país (BRASIL, 2001a; BRASIL, 2001b; BRASIL, 2019). Essa lei foi regulamentada pelo Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001 que posteriormente foi substituído pelo Decreto 9.864 de 27 de junho de 2019.

Em decorrência da Política Nacional, em 2009 foram instituídos os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Atualmente, encontra-se em vigor o RTQ-C por meio da Portaria do Inmetro nº 372, de 17 de setembro de 2010, complementada pela Portaria nº 17, de 16 de janeiro de 2012 e pela Portaria nº 299 de 19 de junho de 2013. (BRASIL, 2010; BRASIL, 2012; BRASIL, 2013; BRASIL 2021).

O objetivo do RTQ-C é a concessão da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que analisa o desempenho dos seguintes sistemas: envoltória, iluminação, condicionamento de ar e aquecimento de água. Cada um dos sistemas é classificado isoladamente e, a partir dos resultados de cada sistema ponderados, é gerada a classificação geral quanto à eficiência energética da edificação. A ENCE não apresenta diretamente o consumo energético da edificação, sua eficiência é avaliada por indicador adimensional relacionado ao consumo. Esse indicador varia de um a cinco, sendo então traduzido em classes de eficiência que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Além da avaliação dos sistemas exigida pelo regulamento, pode-se somar até 1 (um) ponto para possíveis bonificações, como o uso racional de água, uso de sistemas renováveis de energia, dentre outras, para melhorar a classificação final da edificação. A avaliação dos edifícios pode ser feita por métodos prescritivos ou de simulação, sendo que o primeiro é feito por meio de equações e o segundo, por meio de simulação computacional (BRASIL, 2010).

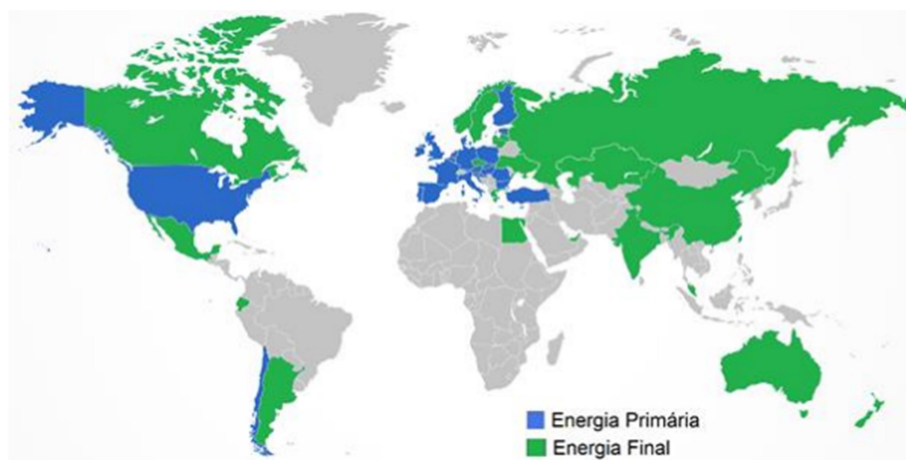
Para a consideração de ambientes ventilados naturalmente o RTQ-C (BRASIL, 2012) apresenta a variável POC (Percentual de horas Ocupadas em Conforto), que representa a razão entre as horas ocupadas com comprovação de conforto e total de horas ocupadas e que deve ser calculada para as áreas de permanência prolongada não condicionadas. A classificação destas áreas é dada pelo EqNumV (equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados

naturalmente), número representativo do conforto dos ambientes não condicionados artificialmente que varia de 1 (menos eficiente) a 5 (mais eficiente) assim como os demais indicadores do RTQ-C. Para obtenção de um EqNumV=5 a edificação precisa apresentar pelo menos 80% de POC.

Desde 2014, o Procel Edifica junto com o centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) vem desenvolvendo ações para a melhoria do atual método de avaliação do nível de eficiência no âmbito do convênio ECV DTP 001-2012, firmado entre a Eletrobras e a Universidade Federal de Santa Catarina (CB3E, 2012).

O RTQ-C não fornece uma ideia de grandeza relacionada ao consumo real da edificação e esta limitação não permite que a economia gerada por medidas de eficiência energética seja quantificada (labEEE, 2020). Segundo Bavaresco e Ghisi (2016), em países nos quais as normas de etiquetagem são consolidadas, as etiquetas de sistemas de certificação mostram o consumo energético anual de energia por unidade de área. Os autores concluíram, ainda, que a apresentação da energia primária na etiqueta de eficiência energética do edifício facilita a compreensão, aproximando-a do público em geral. Este consumo pode representar energia primária que considera as perdas na sua transformação até a sua utilização ou energia final que considera a energia tal como é recebida pelo usuário. A Figura 2 apresenta a divisão entre os países que consideram energia primária e energia final.

Figura 2 – Divisão dos países que consideram energia primária e energia final nas normas de etiquetagem.



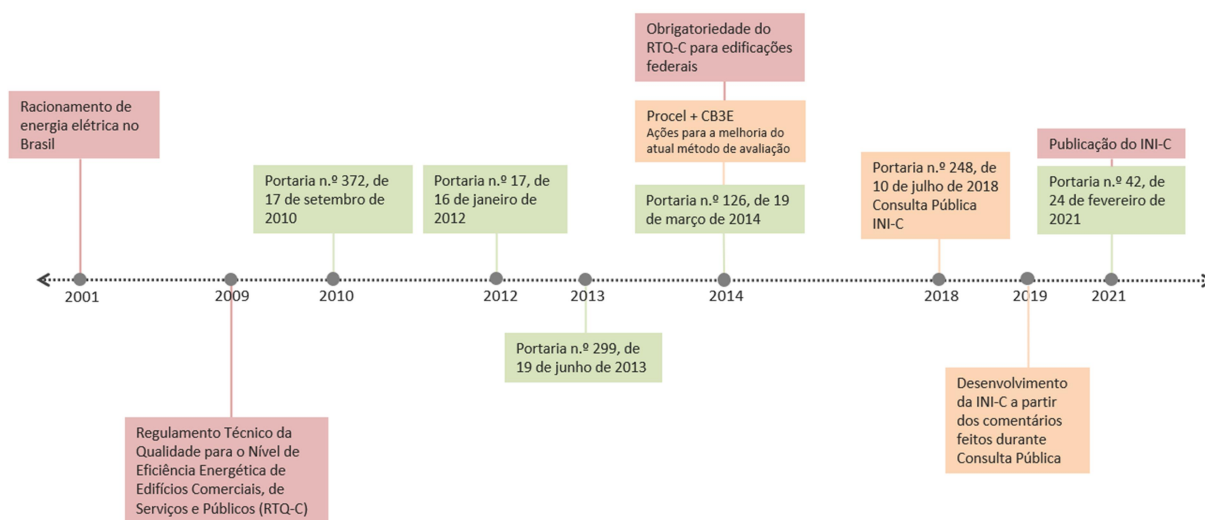
Fonte: Bavaresco e Ghisi, 2016.

A nova proposta para a avaliação de desempenho energético das edificações comerciais, de serviços e públicos, a INI-C, baseia-se no consumo de energia primária. A opção por utilizar o consumo de energia primária como indicador de eficiência permite que a energia elétrica e a energia térmica sejam contabilizadas em um consumo total. A nova etiqueta foi planejada para fornecer informações relativas ao consumo anual e mensal de energia primária por sistema de uso final de energia, além de trazer novas informações complementares como a quantificação das emissões de dióxido de carbono e o potencial de economia de água potável a partir de sistemas que promovem a redução de seu consumo (LABEEE, 2020).

O INI-C foi publicado pela Portaria Inmetro nº 42, de 24 de fevereiro de 2021, que estabeleceu que o RTQ-C poderá ser utilizado por até 24 meses após esta data e que a Portaria nº 372, de 2010 será revogada em 84 meses após a sua publicação (LABEEE, 2020; BRASIL, 2021a).

A Figura 3 ilustra a evolução da etiquetagem de edifícios comerciais, públicos e de serviço no Brasil desde o racionamento de energia de 2001 até a publicação do INI-C em 2021.

Figura 3– Evolução da Etiquetagem de Edifícios Comerciais, Públicos e de Serviços no Brasil



Fonte: Adaptado de Rodrigues, 2020.

Entendendo que o Estado brasileiro é grande consumidor e detentor de alto poder de compra, e que, por estes motivos deve ser indutor e disseminador da cultura de proteção do meio ambiente, a aplicação do RTQ-C, que antes era voluntária, passou a ser obrigatória para edificações públicas federais novas ou que recebam *retrofits*, conforme Instrução Normativa MPOG/SLTI n° 02, de 04 de junho de 2014 (BRASIL, 2014).

2.4. Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (INI-C)

Como informado anteriormente, a INI-C é baseada na utilização do consumo de energia primária da edificação comparando-a a condições de referência que equivalem à classe D. Assim como no RTQ-C, são avaliados os sistemas: envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água. Para cada um dos itens avaliados é possível utilizar o método ou a simulação computacional, à exceção do aquecimento de água. As edificações que não atendam a um ou mais critérios devem ser avaliadas pelo método de simulação, que abrange todos os casos (BRASIL, 2018).

Além do avanço dessa proposta em utilizar o consumo de energia primária para avaliação da edificação, foi também inserido método simplificado para avaliação da envoltória de edificações naturalmente ventiladas, o que só era possível de avaliar

por meio da simulação computacional no RTQ-C (BRASIL, 2021a). A Figura 4 apresenta os métodos disponíveis para cada um dos sistemas avaliados pelo INI-C.

Figura 4– Combinação de métodos disponíveis para a etiquetagem de edificações comerciais, de serviços e públicas para edificações condicionadas artificialmente (CA) e ventiladas naturalmente (VN)

| | | | Método de simulação | | | | | |
|---------------------|-----------------------|----------|---------------------|----------|--------------------|-----------------------|---------------|---------------------|
| | | | Envoltória | | Iluminação Natural | Iluminação artificial | Condic. de ar | Aquecimento de água |
| | | | Edif. CA | Edif. VN | | | | |
| Método simplificado | Envoltória | Edif. CA | | × | ✓ | ✓ | × | × |
| | | Edif. VN | × | | ✓ | ✓ | × | × |
| | Iluminação Natural | | ✓ | ✓ | | × | × | × |
| | Iluminação artificial | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | × |
| | Condic. de ar | | × | × | ✓ | ✓ | | × |
| | Aquecimento de água | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |

Fonte: Brasil, 2021, p. 15.

Para cada um dos sistemas avaliados (envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água) é determinado um consumo de energia elétrica ou térmica. As diferentes fontes de energia são convertidas para energia primária e ao final, os consumos de energia determinados são somados e comparados com a condição de referência. A proposta considera ainda o consumo estimado de equipamentos, o uso racional de água, a geração local de energia renovável e as emissões de dióxido de carbono (CO₂) (BRASIL, 2021a).

2.4.1. Avaliação da Envoltória

A avaliação da envoltória é realizada por meio do percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória (RedCgTT), obtida pela razão entre a carga térmica total anual da envoltória da edificação real (CgTT_{real}) e da condição de referência (CgTT_{ref}), conforme a Equação 1 (BRASIL, 2021a).

$$RedCgTT = \left(\frac{C_{gTTref} - C_{gTTreal}}{C_{gTTref}} \right) * 100 \quad (1)$$

Onde:

RedCgTT é o percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória (%);

CgTTref é a carga térmica total anual da envoltória da edificação na sua condição de referência (kWh/ano);

CgTTreal é a carga térmica total anual da envoltória da edificação real (kWh/ano).

Para a condição real, a carga térmica total anual deve ser calculada a partir do somatório das cargas térmicas de refrigeração anual (CgTRreal em kWh/ano), considerando todas as zonas térmicas condicionadas artificialmente.

Nos casos em que a edificação é totalmente ventilada naturalmente, ou que funciona a partir da combinação entre ventilação natural e condicionadores de ar, deve ser analisada em função do PHOCT. A estimativa do PHOCT, deve ser obtida por meio da fração de horas excedentes por calor (FHdesc) ao longo do ano para o período de ocupação, conforme Equação 2.

$$PHOCT = 100 - FH_{desc} \quad (2)$$

Onde:

PHOCT é o percentual de horas ocupadas em conforto térmico (%);

FHdesc é a fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação.

Caso a edificação para a condição real apresente um valor de PHOCT igual ou superior a 90% no horário de uso da edificação, não é necessário o cálculo da carga térmica interna de refrigeração (CgTR) para a condição real e de referência da edificação. Ou seja, é considerado que esta edificação não consome energia para refrigeração e sua classificação da envoltória é A (BRASIL, 2021a).

Edificações com PHOCT inferior a 90% devem apresentar o consumo com sistemas de ar-condicionado para atender as horas em que a ventilação natural não é suficiente. Nesse caso, a carga térmica total anual da edificação real deve ser calculada por meio da Equação 3 (BRASIL, 2021a).

$$CgTT_{real} = CgTR_{real} \times FH_{desc} \quad (3)$$

Onde:

Cg_{TTreal} é a carga térmica total da edificação em sua condição real (kWh/ano);

Cg_{TRreal} é a carga térmica total para refrigeração (kWh/ano);

FH_{desc} é a fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação.

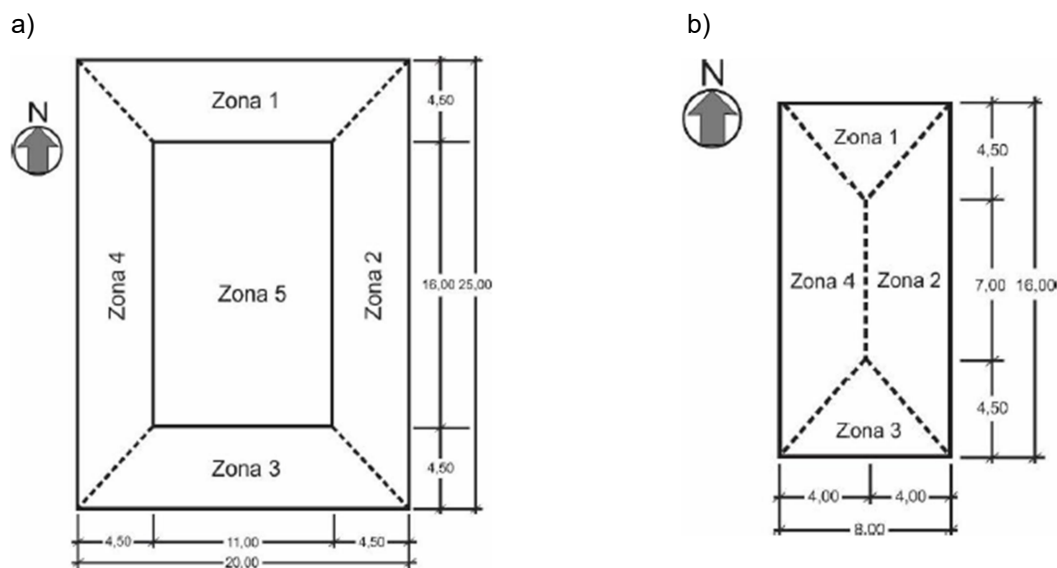
2.4.1.1. Método Simplificado

Para a avaliação da eficiência energética da envoltória, é necessário determinar o percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória para refrigeração ($Red_{Cg_{TT}}$). Para isso, é proposta a utilização de dois metamodelos capazes de avaliar edificações condicionadas artificialmente, híbridas e ventiladas naturalmente (BRASIL, 2021a).

A estimativa da carga térmica em Cg_{TRreal} e Cg_{TTref} em kWh.ano é baseada em um metamodelo de análise que utiliza redes neurais artificiais para diferentes climas brasileiros. A partir da definição da tipologia da edificação, ela é dividida em zonas térmicas conforme disposto na Figura 5. Em cada zona térmica são especificados os parâmetros de entrada considerando a edificação real e a de referência. Os valores de entrada são inseridos na interface web do metamodelo¹. Com esses resultados, é possível obter a redução de consumo de energia para envoltória aplicando os resultados na equação 1 do item 2.4.1 (BRASIL, 2021a).

Figura 5– Exemplo de divisão em zonas térmicas (a) para edificações com largura superior a 9,00 m e (b) para edificações com largura inferior a 9,00 m.

¹ Disponível em: http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html. Acesso em: 09 nov. 2021.



Fonte: Brasil, 2021a, p. 75.

O segundo metamodelo, proposto por Rackes, Melo e Lamberts, (2016), é específico para edificações naturalmente ventiladas ou híbridas e estima o percentual de horas ocupadas em relação à fração anual de horas de desconforto por calor (FHdesc) sendo possível então aplicar seu resultado nas equações 2 e 3 do item 2.4.1 (BRASIL, 2018).

Assim como no método de simulação, é necessário determinar o consumo de energia para a condição real e de referência. É importante ressaltar que o método simplificado abrange apenas as edificações que tenham parâmetros construtivos compreendidos dentro do intervalo apresentado no quadro da Figura 6, para edificações condicionadas artificialmente, e no quadro da Figura 7, quando a edificação é ventilada naturalmente ou híbrida (BRASIL, 2021a).

Figura 6 – Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória atendidos pelo método simplificado

| Parâmetros | Limites | |
|---|-----------------------------|----------------------------|
| | Valor mínimo | Valor máximo |
| Absortância solar da cobertura (α_{cob}) | 0,2 | 0,8 |
| Absortância solar da parede (α_{par}) | 0,2 | 0,8 |
| Ângulo de obstrução vizinha (AOV) | 0° | 80° |
| Ângulo horizontal de sombreamento (AHS) | 0° | 80° |
| Ângulo vertical de sombreamento (AVS) | 0° | 90° |
| Capacidade térmica da cobertura (CT_{cob}) | 0,22 kJ/(m ² .K) | 450 kJ/(m ² .K) |
| Capacidade térmica da parede externa (CT_{par}) | 0,22 kJ/(m ² .K) | 450 kJ/(m ² .K) |
| Densidade de potência de equipamentos (DPE) | 4 W/m ² | 40 W/m ² |
| Densidade de potência de iluminação (DPI) | 4 W/m ² | 40 W/m ² |
| Fator solar do vidro (FS) | 0,21 | 0,87 |
| Pé-direito (PD) | 2,6 m | 6,6 m |
| Percentual de área de abertura da fachada (PAF) | 0% | 80% |
| Transmitância térmica da cobertura (U_{cob}) | 0,51 W/(m ² .K) | 5,07 W/(m ² .K) |
| Transmitância térmica da parede externa (U_{par}) | 0,50 W/(m ² .K) | 4,40 W/(m ² .K) |
| Transmitância térmica do vidro (U_{vid}) | 1,9 W/m ² | 5,7 W/m ² |

Fonte: Brasil, 2021a, p. 18.

Figura 7 – Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória atendidos pelo método simplificado para o aproveitamento da ventilação natural

| Parâmetros | Limites (unidade) | |
|---|---------------------------|----------------------------|
| | Valor mínimo | Valor máximo |
| Absortância solar da cobertura (α_{cob}) | 0,2 | 0,8 |
| Absortância solar das paredes externas (α_{par}) | 0,2 | 0,8 |
| Ângulo vertical de sombreamento (AVS) | 0° | 45° |
| Área das APPs | 9 m ² | 400 m ² |
| Capacidade térmica da cobertura (CT_{cob}) | 10 kJ/(m ² .K) | 400 kJ/(m ² .K) |
| Capacidade térmica da parede externa (CT_{par}) | 40 kJ/(m ² .K) | 500 kJ/(m ² .K) |
| Comprimento total (maior dimensão entre os lados da edificação) | 13 m | 200 m |
| Fator da área da escada | 0 | 0,28 |
| Fator solar do vidro (FS) | 0,2 | 0,8 |
| Forma das aberturas para ventilação: razão entre a largura e a altura das aberturas para ventilação | 0,1 | 50 |
| Número de pavimentos | 1 | 5 |
| Pé-direito | 2,75 m | 4,25 m |
| Percentual de área de abertura na fachada total (PAF _T) | 0,05 | 0,7 |
| Profundidade total (menor dimensão entre os lados da edificação) | 8 m | 50 m |
| Transmitância térmica da parede externa (U_{par}) | 0,1 W/(m ² .K) | 5 W/(m ² .K) |
| Transmitância térmica da cobertura (U_{cob}) | 0,1 W/(m ² .K) | 5 W/(m ² .K) |
| Transmitância térmica do vidro (U_{vid}) | 1 W/(m ² .K) | 6 W/(m ² .K) |

Fonte: Brasil, 2021a, p. 19.

A aplicação do método para edificações naturalmente ventiladas ou híbridas restringe-se às edificações escolares e de escritórios, que possuem geometria retangular ou quadrada, com horários de ocupação preestabelecidos. Além disso, a edificação deve possuir espaços internos com variação na área inferior a 10% e

abertura para ventilação em todos os ambientes de permanência prolongada. Caso não atenda a algum dos critérios mencionados, a edificação deve ser obrigatoriamente analisada pelo método de simulação (BRASIL, 2021a).

2.4.1.2. Metamodelo para determinação da Fração de Horas em Desconforto por calor (FHdesc)

O método simplificado para determinação do FHdesc da INI-C consiste em um metamodelo elaborado em linguagem Python, na versão 2.7, no qual o usuário deve entrar com 38 parâmetros que, segundo Rackes, Melo e Lamberts, (2016), consistem naqueles mais importantes para a determinação das condições de conforto térmico dos ocupantes em edificações naturalmente ventiladas. Os primeiros nove parâmetros são referentes ao clima, derivados de arquivos climáticos. Os outros 29 parâmetros são características da edificação. A Tabela 1 apresenta a unidade de cada parâmetro com os valores mínimos e máximos que podem ser inseridos (RACKES; MELO; LAMBERTS, 2016). É possível perceber que os limites estipulados pelo INI-C apresentados na Figura 7 coincidem com os limites dos parâmetros 10 a 25 e 35 do Metamodelo apresentados na Tabela 1. Além dos limites do Metamodelo, o INI-C acrescenta mais limitações, como variação da área dos ambientes internos, e fixa alguns parâmetros, como densidade de potência instalada e densidade de ocupação na utilização do método simplificado de avaliação.

Tabela 1 – Parâmetros de entrada do Metamodelo e limites de cada variável - Continua

| | Dados de entrada do metamodelo de ventilação natural | Unid. | Valores | |
|----|--|------------------|---------|------|
| | | | Mín. | Máx. |
| 1 | Temperatura média externa anual (Tar) | °C | 10 | 30 |
| 2 | Média anual das dif. entre as temp. máx. e mín. diária (TarMD) | °C | 3 | 15 |
| 3 | Dif. entre o valor máx. e mín. das temp. externas anuais (TarMA) | °C | 3 | 28 |
| 4 | Graus-dia de arrefecimento para temp. base de 18°C (CDD18) | K.dia | 0 | 3800 |
| 5 | Graus-dia de arrefecimento para temp. base de 25°C (CDD25) | K.dia | 0 | 1600 |
| 6 | Média anual da radiação solar direta normal (MRDR) | W/m ² | 40 | 200 |
| 7 | Média anual da radiação solar difusa no plano horizontal (MRDH) | W/m ² | 70 | 130 |
| 8 | Velocidade média do ar externo anual (VMV) | m/s | 0 | 50 |
| 9 | Altitude | m | 0 | 2000 |
| 10 | Comprimento total (maior dimensão entre os lados da edificação) | m | 13 | 200 |
| 11 | Profundidade total (menor dimensão entre os lados da edificação) | m | 8 | 50 |
| 12 | Altura entre pavimentos | m | 2,75 | 4,25 |
| 13 | Número de pavimentos | - | 1 | 5 |
| 14 | Área média das salas ocupadas | m ² | 9 | 400 |
| 15 | Fração total da área do edifício destinada às escadas | - | 0 | 0,28 |
| 16 | WWR (fração de abertura da fachada) | - | 0,05 | 0,7 |

Tabela 1 – Parâmetros de entrada do Metamodelo e limites de cada variável - Continuação

| | Dados de entrada do metamodelo de ventilação natural | Unid. | Valores | |
|--|--|-------|---------|--|
|--|--|-------|---------|--|

| | | Mín. | Máx. |
|----|---|----------------------|------------|
| 17 | Ângulo médio de sombreamento vertical médio | ° | 0 45 |
| 18 | Absortância solar média das paredes externas | - | 0,2 0,8 |
| 20 | Capacidade térmica média das paredes | kJ/m ² .K | 40 500 |
| 21 | Absortância solar média da cobertura | - | 0,2 0,8 |
| 22 | Transmitância térmica média da cobertura | W/m ² .K | 0,1 5 |
| 23 | Capacidade térmica média da cobertura | kJ/m ² .K | 10 400 |
| 24 | SHGC (coeficiente de ganho solar do vidro) | - | 0,2 0,8 |
| 25 | Transmitância térmica do vidro | W/m ² .K | 1 6 |
| 26 | Média da combinação entre a dens. de pot. de ilum. e de equipamentos das salas de permanência prolongada | W/m ² | 1 25 |
| 27 | Média da combinação entre a dens. de potência de iluminação e de equipamentos das áreas de permanência transitória | W/m ² | 1 15 |
| 28 | Densidade de ocupação | ocup./m ² | 0.01 1 |
| 29 | Hora de início de ocupação | h | 6 10 |
| 30 | Hora final de ocupação | h | 14 22 |
| 31 | Fator de correção da velocidade do ar externa | - | 0,10 0,40 |
| 32 | Obstáculos do entorno | - | 0,3 1,0 |
| 33 | Média da fração máxima de abertura de todas as janelas | - | 0.2 1 |
| 34 | WWRnoite (fração de abertura da fachada das janelas destinadas à ventilação noturna) | - | 0 0.17 |
| 35 | Relação entre a largura e a altura das janelas primárias | - | 0,1 50 |
| 36 | Coeficiente de descarga das janelas primárias | - | 0,40 0.8 |
| 37 | Área efetiva de vazão entre os espaços ocup. e as áreas de permanência compartilhada, por comp. de parede compartilhada | - | 0,0001 0.4 |
| 38 | Incremento da velocidade do ar a partir de ventiladores de teto | m/s | 0 0.9 |

Fonte: Adaptado de Rackes, Melo e Lamberts, 2016.

É necessário utilizar as tabelas disponibilizadas pelos autores do Metamodelo para definição dos valores para os parâmetros 31, 32 e 37. Elas estão apresentadas nas Tabelas 2, 3 e 4, a seguir (RACKES; MELO; LAMBERTS, 2016).

Tabela 2 – Tabela para definição do parâmetro 31 do Metamodelo.

| Parâmetros da envoltória atmosférica | | |
|---|----------------------|---------------------------|
| Descrição do Terreno | Expoente α | Espessura δ (m) |
| Grandes centros, nos quais pelo menos 50% dos edifícios têm mais de 25 m, a uma distância de pelo menos 0,8 km ou 10 vezes a altura da estrutura contra o vento, o que for maior. | 0.33 | 460 |
| Áreas urbanas e suburbanas, áreas arborizadas ou outro terreno com numerosas obstruções espaçadas com o tamanho de residências unifamiliares ou maiores, a uma distância de pelo menos 460 m ou 10 vezes a altura da estrutura contra o vento, o que for maior. | 0.22 | 370 |
| Terreno aberto com obstruções dispersas com alturas geralmente inferiores a 9 m, incluindo terreno plano aberto típico de arredores de estações meteorológicas. | 0.14 | 270 |
| Áreas planas e desobstruídas expostas ao vento que flui sobre a água por pelo menos 1,6 km, a uma distância de 460 m ou 10 vezes a altura da estrutura no interior, o que for maior | 0.10 | 210 |

Fonte: Adaptado de Rackes, Melo e Lamberts, 2016.

Tabela 3 – Tabela para definição do parâmetro 32 do Metamodelo.

| Proteção dos ventos do local | |
|---|----------------------------------|
| Descrição da proteção (Para cada Direção) | Coefficientes de proteção |
| Sem obstrução ou proteção no local | 1.0 |
| Proteção local leve com poucas obstruções dentro de duas vezes da altura da estrutura | 0.9 |
| Proteção pesada, muitas obstruções grandes dentro de duas vezes da altura da estrutura | 0.7 |
| Proteção muito pesada, muitas obstruções grandes dentro de uma vez da altura da estrutura | 0.5 |
| Proteção completa | 0.3 |

Fonte: Adaptado de Rackes, Melo e Lamberts, 2016.

Tabela 4 – Tabela para definição do parâmetro 37 do Metamodelo.

| Área efetiva de vazão (AEV) internas entre espaços ocupados e públicos, por comprimento de corredor entre ligações | | | | |
|---|--|---|---|--|
| | AEV (m²) referência Cd=1 | AEV por comprimento, um elemento a cada 3m | AEV por comprimento, um elemento a cada 5m | AEV por comprimento, um elemento a cada 10m |
| Elementos, por Persily e Ivy, 2001 | | | | |
| Porta, fechada, justa | 0.0075 | 0.0025 | 0.0015 | 0.0008 |
| Porta, fechada, típica | 0.0140 | 0.0047 | 0.0028 | 0.0014 |
| Porta, fechada, folgada | 0.041 | 0.0137 | 0.0082 | 0.0041 |
| Porta, aberta, pequena | 1.3000 | 0.4333 | 0.2600 | 0.1300 |
| Porta, aberta, típica | 2.1000 | 0.7000 | 0.4200 | 0.2100 |
| Requisitos de código de componentes, por Orme e Leksmono, 2002 | | | | |
| Tabela Orme 4, 25º pctI | 0.0061 | 0.0020 | 0.0012 | 0.0006 |
| Tabela Orme 4, mediana | 0.0072 | 0.0024 | 0.0014 | 0.0007 |
| Tabela Orme 4, 75º pctI | 0.0111 | 0.0037 | 0.0022 | 0.0011 |
| Aberturas de orifício (assumindo Cd de 0.6, ajustado para referência Cd=1) | | | | |
| 0.1m por 0.1m de abertura | 0.0060 | 0.0020 | 0.0012 | 0.0006 |
| 0.5m por 0.2m de abertura | 0.0600 | 0.0200 | 0.0120 | 0.0060 |
| 1m por 0.2m de abertura | 0.1200 | 0.0400 | 0.0240 | 0.0120 |
| 0.5m por 0.4m de abertura | 0.1200 | 0.0400 | 0.0240 | 0.0120 |

Fonte: Rackes, Melo e Lamberts, 2016.

Rackes, Melo e Lamberts, (2016) afirmaram que os principais fatores da edificação que alteram o conforto térmico são: a densidade de ocupação, a velocidade do ventilador de teto, a área construída e o número de andares. Ainda segundo os autores, com a criação do Metamodelo, a expectativa é facilitar a validação dos sistemas passivos de ventilação, estimulando o uso dessa opção uma vez que os

bioclimas encontrados no Brasil possuem significativo potencial de aproveitamento das soluções passivas que, além de evitar problemas de concentração de poluentes (como o CO₂) no interior dos ambientes, ainda oferecem significativa economia nos gastos com consumo de energia para climatização da edificação.

Para o desenvolvimento do Metamodelo foram realizadas aproximadamente 50.000 simulações, utilizando o programa Energy Plus 8.3, em que foram alterados 55 parâmetros que representavam as edificações. O desempenho da edificação em relação ao conforto térmico foi quantificado por meio da fração anual das horas ocupadas que excediam o limite superior de conforto segundo a ASHRAE 55-2017. Os resultados foram investigados por meio de análise de sensibilidade e métodos de aprendizagem de máquinas. Foi então desenvolvido um metamodelo por meio de regressão de vetores capaz de determinar o nível de conforto térmico da edificação sem a necessidade de utilização de programa de simulação, com o objetivo de aprimorar o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (RACKES; MELO; LAMBERTS, 2016).

O Metamodelo foi desenvolvido com base em edificações escolares, porém foi considerado suficientemente preciso para utilização em edificações de escritórios.

Para utilização do Metamodelo, deve-se inserir os 38 parâmetros em um arquivo do tipo .CSV seguindo o manual disponibilizado pelos autores. Os autores disponibilizaram, ainda, dados climáticos de 427 cidades brasileiras. Caso seja necessário avaliar uma edificação em uma localidade que não seja atendida por esses dados, o programa possui uma rotina capaz de extrair dados de outros arquivos climáticos.

Na publicação da INI-C foi incluída uma interface web para utilização do Metamodelo diretamente pelo navegador de internet², que pode ser visualizada na Figura 8. A interface web omite os parâmetros referentes ao clima - o usuário deve selecionar uma das cidades cadastradas - e não apresenta de qual arquivo climático foi retirada a informação, diferente da interface em Python, na qual o usuário deve inserir cada um dos nove parâmetros referentes ao arquivo climático escolhido. Além dos parâmetros referentes ao clima, os cinco parâmetros relacionados aos ganhos internos e os três relacionados com a ventilação também são omitidos na interface

² Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/naturalcomfort/>. Acesso em: 11 nov. 2021.

web, estes parâmetros são predeterminados pela tipologia da edificação analisada, escolar ou escritório, ficando a cargo do usuário apenas selecionar a tipologia, o que facilita a aplicação da avaliação pelo INI-C, mas dificulta sua utilização em pesquisas e análises não relacionadas ao regulamento pois não apresenta todos os dados de entrada que estão sendo utilizados (BRASIL, 2021a).

Figura 8 – Interface web para cálculo do FHdesc

The image shows a web interface for calculating FHdesc, divided into several sections with input fields:

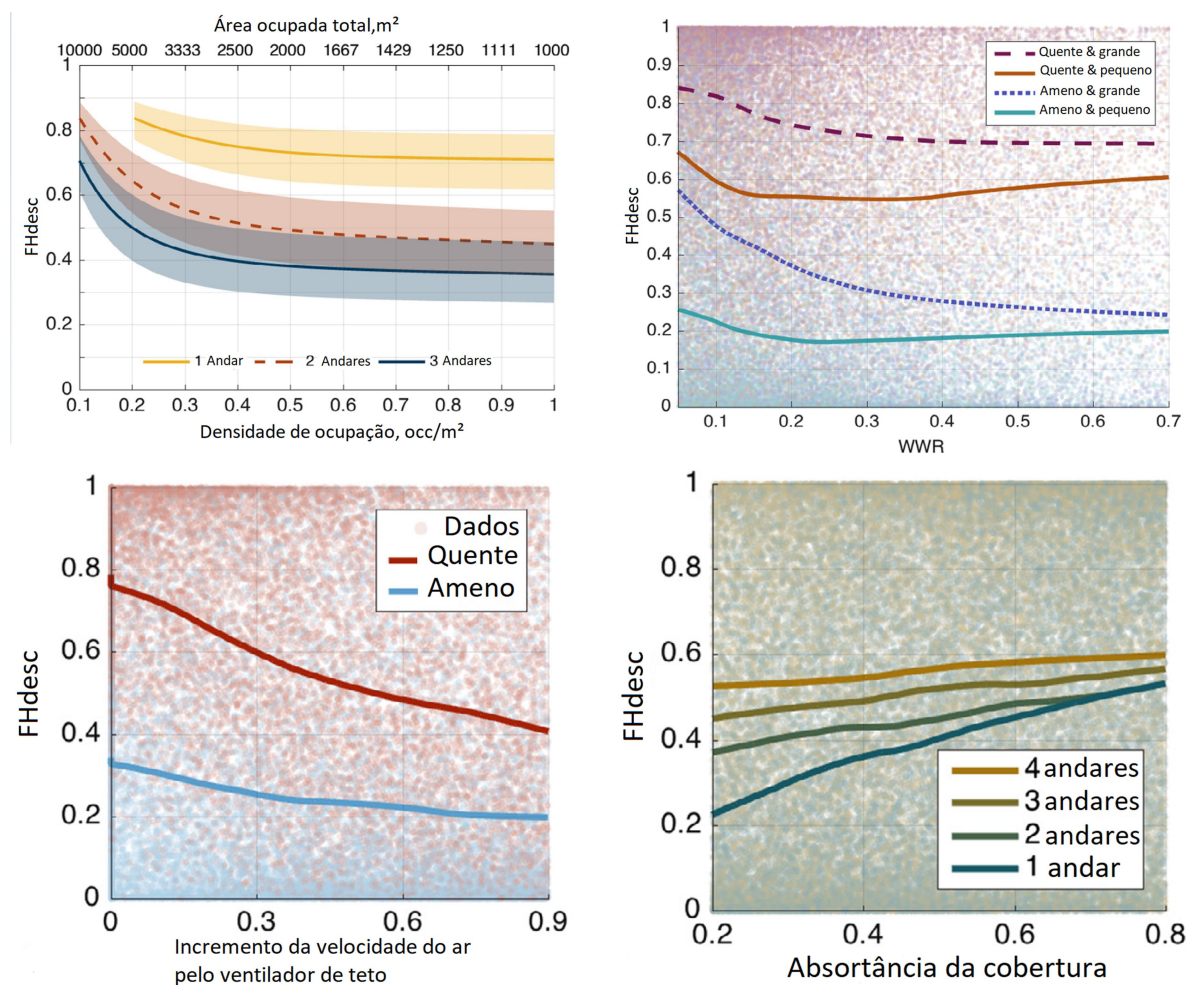
- LOCALIZAÇÃO:** A dropdown menu.
- TIPOLOGIA:** A dropdown menu.
- CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS:**
 - Comprimento total (input field)
 - Profundidade total (input field)
 - Área das salas ocupadas (input field)
 - Fator da área da escada (input field)
- TIPOLOGIA (continued):**
 - Pê-direito (input field)
 - Número de pavimentos (input field)
 - PAF (input field)
 - Ângulo vertical de sombreamento (dropdown menu)
- PROPRIEDADES TÉRMICAS:**
 - Absortância solar da parede (input field)
 - Transmitância térmica da parede (input field)
 - Capacidade térmica da parede (input field)
 - Absortância solar da cobertura (input field)
 - Transmitância térmica da cobertura (input field)
 - Capacidade térmica da cobertura (input field)
 - Fator solar (input field)
 - Transmitância térmica do vidro (input field)
- VENTILAÇÃO:**
 - Fator de correção do vento (dropdown menu)
 - Obstáculos do entorno (dropdown menu)
 - Forma das janelas (input field)
 - Fator de abertura (dropdown menu)
 - Ventilador (dropdown menu)

At the bottom, there are two buttons: "CALCULAR" and "NATURAL COMFORT".

Fonte: BRASIL, 2021a.

No desenvolvimento do Metamodelo, foi possível verificar a correlação entre os parâmetros de entrada e a relação com o FHdesc. Em testes feitos, foi observado que o aumento da área construída, números de andares, densidade de ocupação e densidade de potência instalada estão fortemente relacionados ao aumento do desconforto na edificação; aumentar a velocidade do ar interno em 0,6 m/s com ventiladores de teto e introduzir 5% de abertura nas fachadas para ventilação noturna pode reduzir o FHdesc em 30%; o parâmetro construtivo mais importante para edificações de andar único é a absortância da cobertura (RACKES; MELO; LAMBERTS, 2016). Nos gráficos da Figura 9 é possível observar a relação entre alguns parâmetros e a FHdesc.

Figura 9 – Relação entre parâmetros do INI-C e FHdesc



Fonte: Adaptado de Rackes; Melo; Lamberts, 2016.

2.4.1.3. Condição de Conforto: ASHRAE 55

A INI-C utiliza como condição de conforto para ambientes híbridos e naturalmente ventilados, o apresentado no item 5.4 da ASHRAE 55-2017 que determina as condições térmicas em ambientes naturalmente condicionados controlados pelos ocupantes (BRASIL, 2021a).

Esse método foi desenvolvido por De Dear e Brager (1998), por meio do projeto ASHRAE RP-884 que reuniu uma base de dados de cerca de 21.000 observações, distribuídas em 160 edificações e em estudos de campo sobre conforto térmico em 4 continentes. Através de análises estatísticas e controle de qualidade dos dados, os autores foram capazes de desenvolver equações que correlacionam temperaturas confortáveis no interior de uma edificação com a temperatura externa do ambiente

considerando que os usuários se adaptam de acordo com a variação da temperatura ao longo do ano (DE DEAR; BRAGER, 1998).

A Equação 4 foi apresentada na ASHRAE 55-2017 para determinar a temperatura ideal de conforto em edificações naturalmente ventiladas de acordo com temperaturas recentes do exterior, entre 07 e 30 dias.

$$T_{neut}(t) = 0,31T_{pma,o}(t) + 17,8 \quad (4)$$

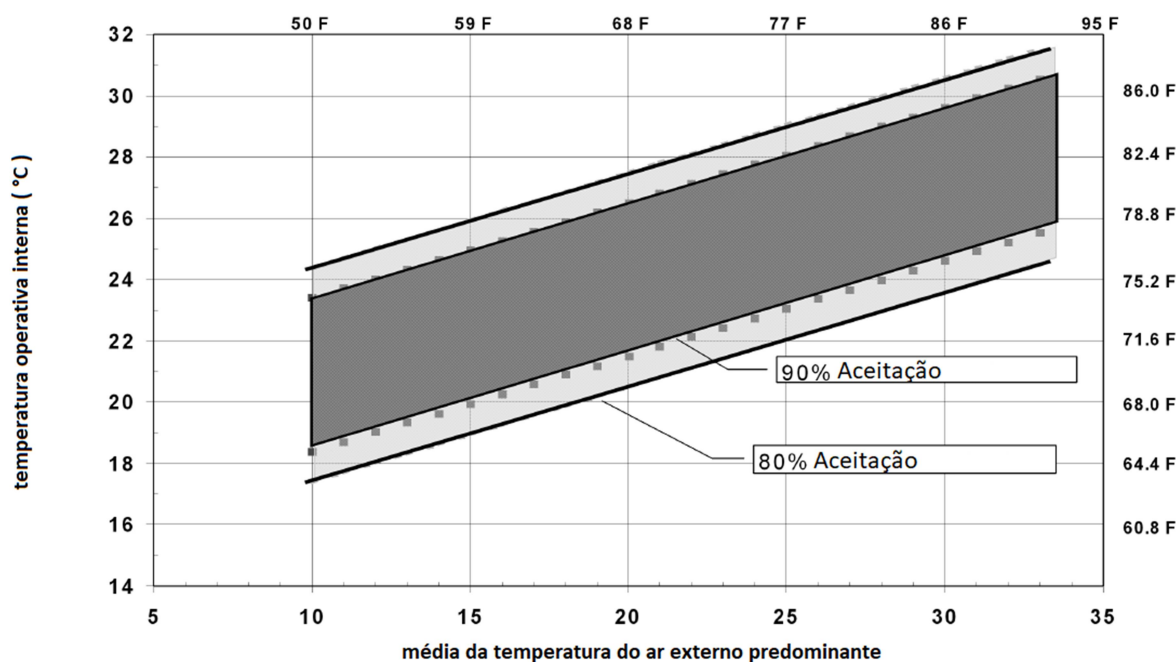
Onde:

$T_{neut}(t)$ é a temperatura operacional neutra, ou temperatura operacional com menos ocupantes desconfortáveis em °C;

$T_{pma,o}(t)$ é a temperatura média predominante do ar exterior.

A temperatura média predominante do ar exterior ($T_{pma,o}$) varia com o tempo (t). Portanto, a temperatura operacional neutra ou com menos ocupantes em desconforto (T_{neut}) também varia com o tempo. Para que 80% dos ocupantes se sintam confortáveis no ambiente, a norma define uma faixa de variação do T_{neut} de $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$ conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Temperaturas operativas aceitáveis para ambientes naturalmente ventilados



Fonte: Adaptado de ASHRAE, 2017, p. 15.

Entretanto, existe uma variável ambiental que modifica o limite superior de conforto: a velocidade do ar. Se a temperatura for maior que 25°C , é permitido incrementar o

limite superior da T_{neut} em 1,2°C, 1,8°C e 2,2°C para velocidades do ar de 0,3 m/s, 0,6 m/s e 0,9 m/s respectivamente (ASHRAE, 2017).

2.4.1.4. **Método de Simulação**

A simulação computacional é a forma mais flexível e completa de observar aspectos relacionados à eficiência energética de edificações. Por meio de modelos matemáticos que representam as características físicas e estratégias de controle de um edifício e seus sistemas, a simulação permite o estudo nos casos de edificações com volumetrias, aberturas ou proteções solares mais complexas, e ainda permite a avaliação das condições passivas de condicionamento (CARLO; LAMBERTS, 2010b; HONG; LANGEVIN; SUN, 2018).

As ferramentas para simulação vêm se tornando cada vez mais sofisticadas e recebendo interfaces cada vez mais compreensíveis para os usuários, com um crescimento muito nítido, na qual os *softwares* se tornaram cada vez mais robustos e com maiores níveis de precisão (HONG; LANGEVIN; SUN, 2018; SPITLER, 2006 *apud* HENSEN; LAMBERTS, 2011).

No entanto, a modelagem e a simulação energéticas são processos que lidam com grande quantidade de informação, são repetitivos e propensos a erro (LEAL, 2012). Dessa forma, é necessário grande investimento de tempo e recursos computacionais para que sejam obtidos bons resultados (HENSEN; LAMBERTS, 2011). Um indicativo da dificuldade da utilização da simulação computacional e de seu alto custo pode ser observado por meio da baixa utilização deste método para obtenção da ENCE: das edificações etiquetadas até março de 2022, menos de 18% utilizaram a simulação como método de avaliação (BRASIL, 2022).

Com a simulação é possível obter o consumo energético e as temperaturas internas das edificações. Os resultados da simulação podem, então, ser utilizados para calcular o consumo de energia primária da condição real e da condição de referência da edificação e com isso avaliar sua eficiência (BRASIL, 2018).

Na metodologia da INI-C, todas as edificações podem ter a sua envoltória analisada pelo método de simulação, entretanto, o programa computacional utilizado deverá possuir as características determinadas pelo item C.I.1 como ser um programa de análise de consumo de energia de edifícios, ser validado pela ASHRAE, modelar 8760 horas por ano, modelar variações horárias no perfil de consumo e ventilação

separadamente para cada dia da semana e feriados, trocas térmicas entre solo e edificação, sombreamentos e outros itens que estão apresentados na íntegra no Anexo I. Os itens C.I.2 e C.I.3 indicam que os arquivos climáticos devem possuir informações que sejam representativas do clima da cidade onde a edificação analisada será construída e apresentam os procedimentos para a simulação, indicando que deve-se considerar o entorno em todas as avaliações realizadas (BRASIL,2021a).

Os itens C.I.4, C.I.5 E C.I.7 indicam que para a estimativa de carga térmica, a edificação deverá ser analisada sob a condição real e sob uma condição de referência, e que para isso deve-se elaborar um modelo representando a edificação real e um representando a edificação de referência, fornecendo as características necessárias dos modelos e do processo de simulação para esta comparação.

Para a estimativa da fração de horas em conforto deve-se seguir o disposto no Anexo I item C.I.6. que determina para edificações naturalmente ventiladas, ou que possuam áreas de longa permanência não condicionadas os requisitos para a simulação indicam que o percentual de horas ocupadas deve-se seguir as condições de referência do Anexo A e que se deve especificar o método relativo aos limites da zona de conforto térmico adotado. No caso do presente trabalho foram usados os limites da ASHRAE 55, 2017.

3. METODOLOGIA

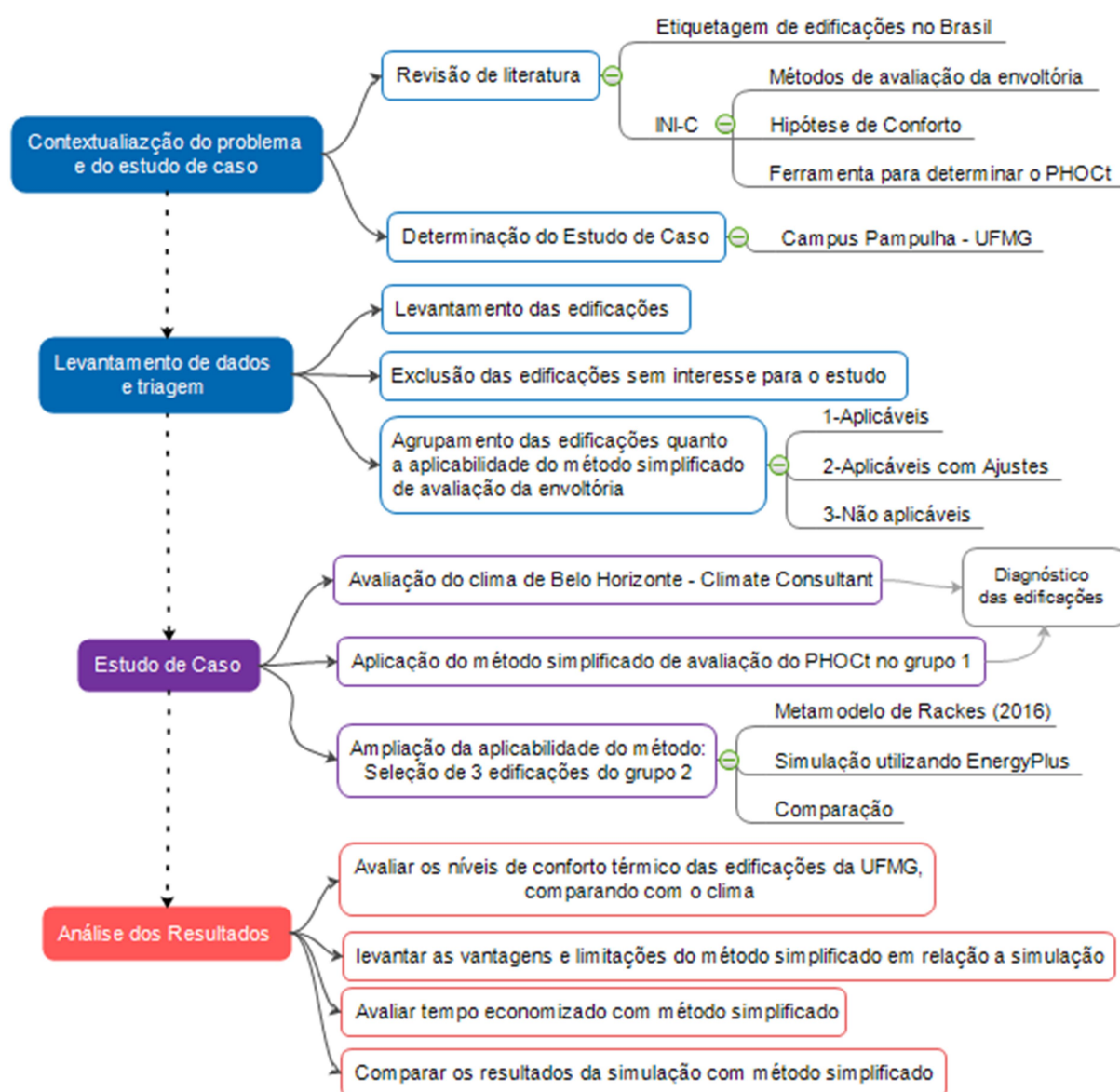
A ferramenta de cálculo do PHOCT, desenvolvida por Rackes, Melo e Lamberts (2016), denominada de Metamodelo para fins de simplificação do texto, tem como objetivo facilitar e promover a utilização de soluções passivas de climatização, entretanto, como toda ferramenta simplificada, tem suas limitações. A pesquisa foi focada em investigar a abrangência dessa ferramenta, suas vantagens e limitações em comparação com o método de simulação termoenergética.

Dois métodos de avaliação do PHOCT foram utilizados para analisar de forma abrangente o método simplificado de avaliação de edificações naturalmente ventiladas do INI-C, o método simplificado e a simulação computacional. Nos dois métodos, a condição de conforto utilizada para definir as condições térmicas

aceitáveis para um ambiente naturalmente ventilado foi baseada no modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55-2017.

Para alcançar os objetivos propostos, foram seguidos os procedimentos metodológicos conforme Figura 11.

Figura 11 – Etapas Metodológicas da Pesquisa



Fonte: Autor.

3.1. Contextualização do problema e do estudo de caso

Nesta etapa, foi levantada a literatura referente à etiquetagem no Brasil e realizada a escolha do estudo de caso.

3.1.1. Revisão de literatura

Foi realizada uma revisão de literatura sobre o RTQ-C desde sua criação até publicação do INI-C, que substituiu o RTQ-C. No INI-C, foram levantadas as melhorias e diferenciações implementadas quando comparadas ao regulamento anterior e estudado o método simplificado de avaliação da envoltória que utiliza o Metamodelo proposto por Rackes, Melo e Lamberts (2016) para análise de desempenho de edificações ventiladas naturalmente, descrito detalhadamente na revisão (Capítulo 2). Foi feita também a revisão bibliográfica de literatura sobre conforto térmico e ventilação natural em ambientes de ensino.

3.1.2. Determinação do Estudo de Caso

O *Campus* Pampulha da Universidade federal de Minas Gerais (UFMG), localizado em Belo Horizonte, foi escolhido como objeto de estudo desta pesquisa. A escolha foi feita pela disponibilidade das informações necessárias para a pesquisa, devido ao fato do Metamodelo para avaliação do PHOCT ser direcionado para ambientes escolares, da existência dos dados climáticos para Belo Horizonte no Metamodelo e, ainda, da possibilidade de os resultados da pesquisa poderem ser utilizados como diagnóstico para futuras melhorias na Universidade.

3.2. Levantamento de dados e triagem

Neste momento da pesquisa foram analisados os projetos arquitetônicos das edificações no acervo da UFMG para realização da triagem das edificações de interesse para a pesquisa e agrupamento em relação a aplicabilidade do Metamodelo.

3.2.1. Levantamento das edificações

A partir dos projetos localizados no acervo da UFMG, foram levantadas as edificações localizadas no *campus* Pampulha da UFMG, sendo levantadas as características arquitetônicas e tipos de uso e ocupação para realização das análises.

3.2.2. Exclusão das edificações sem interesse para a pesquisa

Com as características das edificações levantadas, foi realizada uma triagem para selecionar edificações de interesse para a pesquisa. As edificações de interesse foram aquelas que são ventiladas naturalmente ou ventiladas de forma híbrida e que

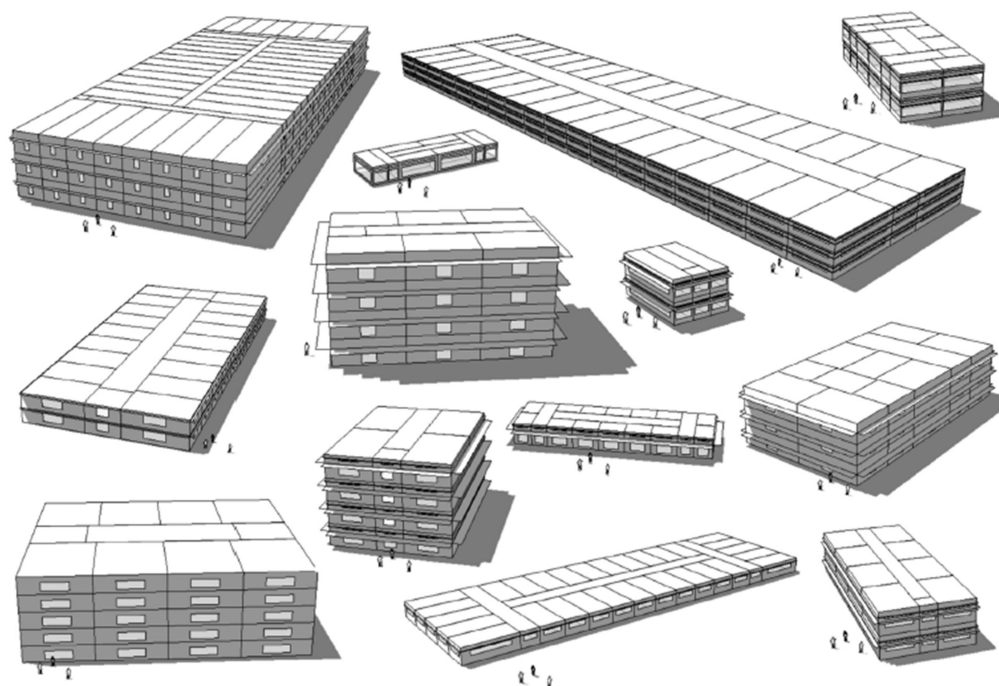
têm função predominantemente administrativa, por terem funcionamento similar a escritórios, ou acadêmica. Dessa forma foram excluídas da pesquisa as edificações utilizadas predominantemente como depósitos, laboratórios ou com funcionamento exclusivamente por climatização artificial.

3.2.3. Agrupamento das edificações quanto a aplicabilidade do Metamodelo

Só é possível aplicar esse o Metamodelo em edificações que todos os parâmetros avaliados da edificação estejam dentro dos limites estabelecidos pelo Metamodelo - apresentados na Tabela 1. Para separar as edificações em grupos, foram analisados os parâmetros a seguir: o formato da edificação deve ser paralelepipedal, o comprimento da edificação deve ficar entre 13 m e 200 m, a largura da edificação deve estar entre 8 m e 50 m, o pé direito deve estar entre 2,75 m e 4,25 m, o número máximo de andares deve ser de cinco, a relação entre comprimento e largura não pode ultrapassar quatro e, por fim, a altura total não pode ultrapassar 16 m.

Caso as características da edificação extrapolem os limites especificados pelo método simplificado, a única forma de avaliação disponível pelo INI-C é a simulação computacional. A Figura 15 apresenta exemplos de modelos gerados para o desenvolvimento do Metamodelo. Nestes modelos nota-se que aberturas e proteções solares são distribuídas de forma homogênea em todas as fachadas, sem diferenciação de orientação ou zona.

Figura 12 – Exemplos de modelos gerados



Fonte: Rackes, Melo e Lamberts, 2016.

Como poucas edificações poderiam ser diretamente analisadas pelo método, e considerou-se que algumas edificações poderiam ser analisadas a partir de pequenas modificações, por exemplo alterando o comprimento e largura para não se enquadrar no limite de comprimento maior do que quatro vezes a largura mas mantendo a área original, foram definidos três grupos de acordo com a aplicabilidade do método: 1) método simplificado pode ser aplicado sem ajustes, 2) método simplificado pode ser aplicado com ajustes e 3) método simplificado não é aplicável.

3.3. Estudo de Caso

O estudo de caso consistiu em avaliar o clima de Belo Horizonte e avaliar os níveis de conforto térmico das edificações do Grupo 1 utilizando o Metamodelo, para diagnosticar essas edificações quanto ao conforto térmico. Posteriormente foram selecionadas 3 edificações do Grupo 2 para analisar a possibilidade de ampliação da aplicabilidade do Metamodelo. As 3 edificações tiveram seus níveis de conforto térmico avaliados utilizando simulação com o software *EnergyPlus* considerando suas características reais e utilizando o Metamodelo adequando os parâmetros que

estavam foram dos limites atendidos pelo Metamodelo, para comparar os efeitos das adequações com os resultados da simulação.

3.3.1. Avaliação do clima de Belo Horizonte

Para avaliar o potencial de obtenção de conforto em edificações na cidade de Belo Horizonte - MG, o clima da cidade foi avaliado utilizando o *software Climate Consultant 6.0*, a partir do arquivo climático do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET 2012, considerando o horário de funcionamento de 8h00 às 22h00 e o modelo adaptativo da ASHRAE-55/17.

3.3.2. Aplicação do Método Simplificado nas edificações do Grupo 1

O Metamodelo foi utilizado para avaliar o PHOCT das edificações do Grupo 1, foram fixados os valores de densidade de potência instalada para áreas de permanência transitória e permanência prolongada, de 14,1 W/m² e 23,8 respectivamente, e densidade de ocupação de 0,67 para edificações escolares e 0,1 para edificações de escritório conforme sugerido pela portaria do INMETRO nº 248 de 10 de julho de 2018 (proposta para o INI-C), Figura 13. A portaria INMETRO nº 42 de 24 de fevereiro de 2021 não apresenta valores para esses itens, por esse motivo foram mantidos os valores da portaria INMETRO nº 248/2018.

Figura 13 – Dados de entrada fixados pela Portaria INMETRO nº 248/2018.

| | Unidade | Valores fixos |
|---|----------------------|------------------------------------|
| Média da combinação entre a densidade de potência de iluminação e de equipamentos das salas de permanência prolongada | W/m ² .K | Escola - 23,8 Escritório - 25 |
| Média da combinação entre a densidade de potência de iluminação e de equipamentos das áreas de permanência transitória (corredores e escadas) | W/m ² .K | Escola - 14,1 Escritório - 15 |
| Densidade de ocupação | ocup./m ² | Escola - 0,667 Escritório - 0,1 |

Fonte: BRASIL, 2018.

Os dados climáticos utilizados foram os mesmos para todos os edifícios, e são referentes ao arquivo climático INMET 2012 para a cidade de Belo Horizonte, sendo estes dados já disponíveis pelo autor do Metamodelo. Esse arquivo climático foi escolhido por ser o mais recente disponibilizado pelos autores do Metamodelo e pela dificuldade encontrada de extrair os dados de entrada de arquivos climáticos mais recentes para sua aplicação no Metamodelo. A Tabela 5 apresenta os dados utilizados. Na interface web apresentada no INI-C (portaria INMETRO nº42/2021) esses parâmetros são omitidos sem dar opção de escolha e informação de qual parâmetro está sendo utilizado para o usuário do Metamodelo. Para todos os

prédios foi considerada a presença de ventiladores de teto, acrescentando assim velocidade do ar em 0,35 m/s.

Tabela 5 – Dados de entrada relativos ao arquivo climático INMET para Belo Horizonte utilizados no método simplificado.

| Dados de entrada do metamodelo de ventilação natural | | Unid. | Valor |
|---|--|------------------|--------------|
| 1 | Temperatura média externa anual (Tar) | °C | 21,8 |
| 2 | Média anual das diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas de cada dia (TarMD) | °C | 9,4 |
| 3 | Diferença entre o valor máximo e mínimo das temperaturas externas anuais (TarMA) | °C | 13,6 |
| 4 | Graus-dia de arrefecimento para temperatura base de 18°C (CDD18) | K.dia | 1483 |
| 5 | Graus-dia de arrefecimento para temperatura base de 25°C (CDD25) | K.dia | 164 |
| 6 | Média anual da radiação solar direta normal (MRDR) | W/m ² | 95 |
| 7 | Média anual da radiação solar difusa no plano horizontal (MRDH) | W/m ² | 91 |
| 8 | Velocidade média do ar externo anual (VMV) | m/s | 2,2 |
| 9 | Altitude | m | 869 |

Fonte: Autor.

Foram considerados início e fim de funcionamento dos blocos ou edificações de acordo com os limites do Metamodelo sendo 08h00 às 22h00 horas, mesmo em bloco de sala de aula em que funcionam das 7h30 às 22h45 horas pois o metamodelo tem como limite 06h00 para início e 22h00 para término do funcionamento.

Para avaliação do conforto dessas edificações, foi utilizado o programa em Python disponibilizado pelo autor do Metamodelo. Apesar de ter sido disponibilizada interface web de uso mais intuitivo na publicação do INI-C, nela não é possível determinar o arquivo climático utilizado, além dos ganhos internos por iluminação e equipamentos não serem determinados no texto do INI-C e por isso serem omitidos na interface web. Com maior detalhamento dos dados na interface Python e a avaliação de várias edificações simultaneamente, por estes motivos foi a interface escolhida para esta pesquisa. Ressalta-se que o metamodelo apresenta a estimativa da fração anual de horas em desconforto (FHdesc), sendo assim o PHOCT estimado é dado pelo FHdesc subtraído de 100%.

3.3.3. Ampliação da aplicabilidade do Metamodelo

Para verificar a possibilidade de ampliação da aplicabilidade do Metamodelo, três edificações do Grupo 2 foram selecionadas para avaliação do PHOCT utilizando simulação termo energética e o Metamodelo. As edificações selecionadas foram:

Anexo Dança da Escola de Belas Artes, Bloco H do Instituto de Ciências Biológicas e Bloco 2 da Faculdade de Educação.

Na aplicação do método simplificado as edificações tiveram parâmetros de sua forma ou de sua volumetria ajustados para possibilitar a utilização do Metamodelo. Os parâmetros corresponderam aos valores reais da edificação, exceto aqueles que estavam fora dos limites estabelecidos pelo Metamodelo. Assim como nas edificações do Grupo 1, foi utilizado o arquivo climático INMET 2012 nas avaliações. Os parâmetros ajustados no Metamodelo estão descritos na Tabela 6 e indicado o motivo de ajuste. No Apêndice B é possível verificar todos os parâmetros utilizados.

Tabela 6 – Parâmetros ajustados para utilização do Metamodelo - Continua

| Edificação | Parâmetro | Real | Ajustado | Motivo |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Anexo Dança - EBA | Pé Direito | 3,75 m | 3,19m | Limite de 16m de altura total |
| | Potência instalada nas APP | 39,9 W/m ² | 25,0 W/m ² | Limite de 25 W/m ² |
| | Largura | 10,62 m | 12,73 | Formato não retangular |
| Bloco H - ICB | Capacitância Térmica da cobertura | 457,9 kJ/m ² .K | 400,0 kJ/m ² .K | Limite de 400,0 kJ/m ² .K |
| | Número de andares | 4 | 4 e 3 | Primeiro pavimento é pilotis |

Tabela 6 – Parâmetros ajustados para utilização do Metamodelo - Continuação

| | | | | |
|----------------------|--------------------------|----------|---------|--|
| Bloco 2 - FAE | Comprimento | 108,6 m | 102,8 m | Relação comprimento x Largura não ultrapassar quatro vezes |
| | Largura | 24,4 m | 25,7 m | |
| | Pé-direito | Variável | 3,1 m | Deve ser inserido apenas um valor de pé-direito |
| | Absortância da cobertura | 0,85 | 0,80 | Limite de 0,8 |

Fonte: Autor.

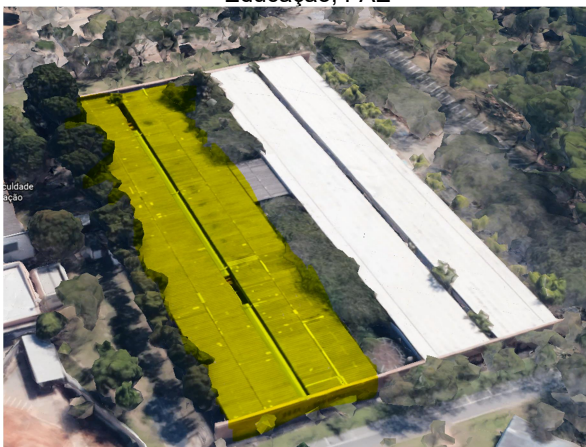
Para avaliar se os ajustes realizados afetaram de forma significativa o PHOCT de cada edificação, as três edificações tiveram o PHOCT avaliados via simulação, com o modelo elaborado com as características reais de cada edificação, para possibilitar a comparação dos resultados.

O modelo das edificações ou blocos foi produzido no programa computacional SketchUp Make 2017, a partir do *plug-in* Euclid 0.9.3, e os ambientes com densidade, ocupação e uso de equipamentos semelhantes foram representados por

uma zona térmica. O modelo foi elaborado mantendo as características de volumetria da edificação real. Finalizados os modelos, foram inseridos os dados necessários para simulação pelo *software* EnergyPlus v.8.7.0, tais como: características físicas dos materiais, arquivo climático, rotina de iluminação, equipamentos e ocupação dos ambientes, rotina de abertura das portas e janelas, orientação da edificação e temperatura do solo calculado pelo do *plug-in* “*slab*”. Os dados inseridos relativos à ventilação natural seguiram as orientações do Manual de Simulação Computacional de Edifícios Naturalmente Ventilados no Programa Energyplus – Versão 8.0 (PEREIRA *et al.*, 2013). A Figura 14 apresenta a vista aérea das edificações simuladas e o modelo 3d utilizado para a simulação, e a Tabela 7 algumas características dessas edificações.

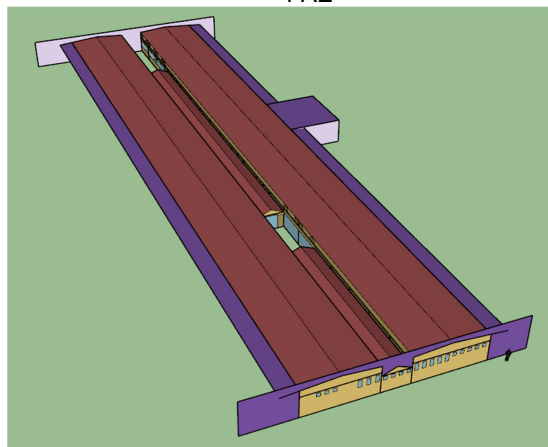
Figura 14 – Edificações simuladas

(a) Imagem aérea do Bloco 2 da Faculdade de Educação, FAE



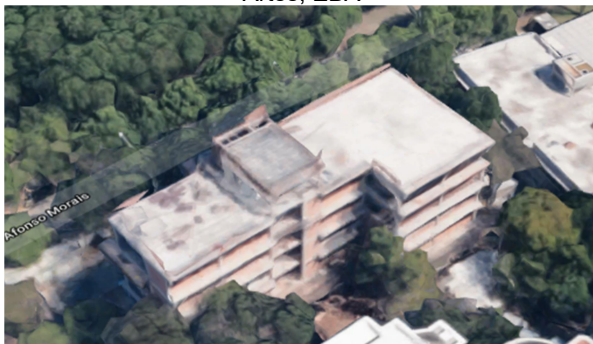
Fonte: Adaptado de GOOGLE, 2021.

(b) Modelo 3d do Bloco 2 da Faculdade de Educação, FAE



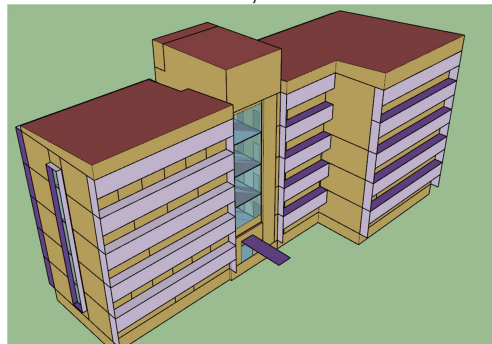
Fonte: Autor.

(c) Imagem aérea do Anexo Dança da Escola de Belas Artes, EBA



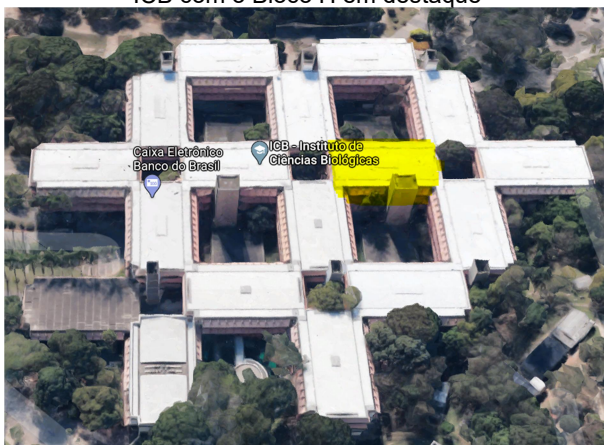
Fonte: GOOGLE, 2021.

(d) Modelo 3d do Anexo Dança da Escola de Belas Artes, EBA



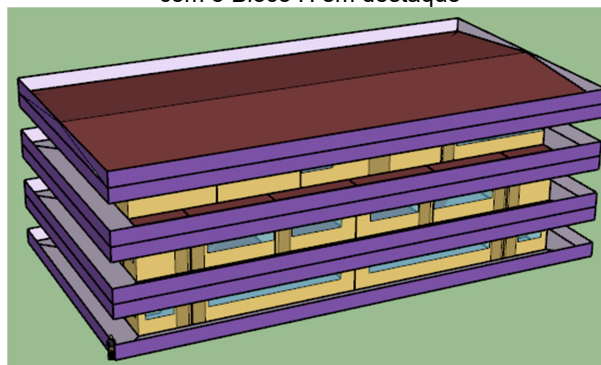
Fonte: Autor.

(e) Imagem aérea do Instituto de ciências Biológicas, ICB com o Bloco H em destaque



Fonte: Adaptado de GOOGLE, 2021.

(f) Modelo 3d do Instituto de ciências Biológicas, ICB com o Bloco H em destaque



Fonte: Autor.

Tabela 7 – Características das edificações simuladas

| EDIFICAÇÃO | | | |
|---|--|--|---|
| | Bloco 2 - FAE | Anexo Dança - EBA | Bloco H - ICB |
| Transmitância das Paredes Externas (W/m².K) | Esquadria de alumínio com placa cimentícia e alvenaria | Alvenaria | Alvenaria |
| | 5,54 e 1,85 | 1,85 | 1,85 |
| Transmitância da Cobertura (W/m².K) | Telha de amianto e forro PVC | Laje, impermeabilização, isolamento e telha sanduíche. | Laje, impermeabilização e telha metálica. |
| | 1,76 | 0,56 | 1,87 |
| Área | 2600 m ² | 2880 m ² | 1680 m ² |
| Nº Andares | 1 | 5 | 4 |
| Altura total | 3,1 m | 18,8 m | 16,0 m |
| Tipo de Uso | Salas de aula, biblioteca, administrativo. | Gabinetes, biblioteca, salas de dança, administrativo. | Sala de aula, sala de seminários. |
| Cores e Absortância das Paredes | Branca | Branca e Amarela | Branca |
| | 0,2 | 0,2 e 0,3 | 0,2 |
| Concepção | - | 2010 | 1968-1969 |
| Inauguração | 1965 | Em licitação | 1973 |

Fonte: Adaptado de Departamento de Planejamento e Projetos, 2020.

Após inserção dos dados no EnergyPlus, foram obtidos, como resultado da simulação, dados da temperatura operativa para cada um dos ambientes, hora a hora, para o período de um ano. De posse destas temperaturas, os dados de saída foram tratados considerando a condição de conforto da ASHRAE 55-2017 para determinar os limites de temperatura de conforto e, assim, determinar o PHOCT de cada ambiente. Para determinar o PHOCT da edificação foi realizada a média ponderada dos PHOCT's das áreas de permanência prolongada (APP) considerando

a área de cada ambiente. Os valores de PHOCT de cada ambiente das edificações avaliadas estão apresentados no Apêndice A.

Com o PHOCT obtido pelo Metamodelo e por simulação os resultados foram comparados para verificar qual a influência dos ajustes realizados no metamodelo, considerando a simulação como referência.

3.4. Análise dos Resultados

Após levantamento de dados e estudo de caso, foi realizada a análise dos dados, levantando os níveis de conforto das edificações do *Campus* Pampulha da UFMG em relação ao clima, as vantagens e desvantagens do método simplificado em relação à simulação, a economia de tempo que o método simplificado oferece e o desvio do resultado do PHOCT obtido pelo Metamodelo em relação a simulação para as edificações avaliadas do Grupo 2.

3.4.1. Níveis de conforto térmico das edificações da UFMG em relação ao clima

Os resultados de PHOCT das edificações avaliadas foi comparado com o PHOCT obtido pelo software Climate Consultant para verificar se as edificações do *Campus* aproveitam o potencial de conforto do clima. Para facilitar a visualização foram elaborados gráficos e calculada a média do PHOCT das edificações.

3.4.2. Vantagens e limitações do Metamodelo em relação à simulação

Foi verificada a abrangência de aplicação do método simplificado em relação aos limites dos parâmetros de entrada do Metamodelo, suas vantagens, o tempo necessário para sua aplicação e limitações na sua utilização em relação à simulação termoenergética. Foi levantado qual o impacto da flexibilização nos ajustes dos parâmetros traria para ampliar os limites de aplicação do Metamodelo.

3.4.3. Avaliar o tempo economizado com o Metamodelo em relação à simulação

O Metamodelo necessita de 29 parâmetros da edificação e entorno para determinar o PHOCT da edificação, enquanto uma simulação termoenergética necessita de um modelo 3D, rotinas de utilização de cada ambiente quanto à ocupação e consumo energético, as propriedades de cada material utilizado na construção da edificação e ainda posterior tratamento dos dados de saída da simulação. Dessa forma espera-se grande diferença no tempo despendido para obtenção do PHOCT para cada um dos métodos.

3.4.4. Comparar resultados de PHOCT da simulação com o Metamodelo

Devido a essa diferença os resultados de PHOCT obtidos pelo método simplificado foram comparados aos resultados das simulações termoenergéticas, considerando as simulações como referência. Foram feitas considerações sobre a precisão do Metamodelo após os ajustes necessários para a entrada de dados, visto que os ajustes podem distorcer os resultados.

Na comparação do PHOCT foi observado se o método simplificado obteve resultados próximos aos da simulação, em edificações em que seus parâmetros foram ajustados, para avaliar se seria viável ajustar valores dos parâmetros de entrada de modo a aumentar a aplicação do método simplificado sem comprometer os resultados, sempre considerando a condição de conforto adaptativo da ASHRAE 55.

4. ESTUDO DE CASO

A Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) é uma autarquia em regime especial, mantida pela União, com sede em Belo Horizonte. Foi criada pela Lei nº 956, de 7 de setembro de 1927, do Estado de Minas Gerais, e transformada em instituição federal pela Lei nº 971, de 16 de dezembro de 1949. É dotada de autonomia didático-científica, administrativa, disciplinar e de gestão financeira e patrimonial (UFMG, 1999).

Na Cidade Universitária criada em 1962 – hoje denominada de *Campus Pampulha* – localizam-se os prédios da Administração Central da UFMG e a maior parte das suas Unidades Acadêmicas. Com um fluxo diário superior a 41.000 pessoas, esse *campus* conta com infraestrutura de restaurantes, bancos, lojas e outros serviços destinados a proporcionar maior comodidade à população que ali estuda ou trabalha e, circunstancialmente, a frequenta (UFMG, 2020a).

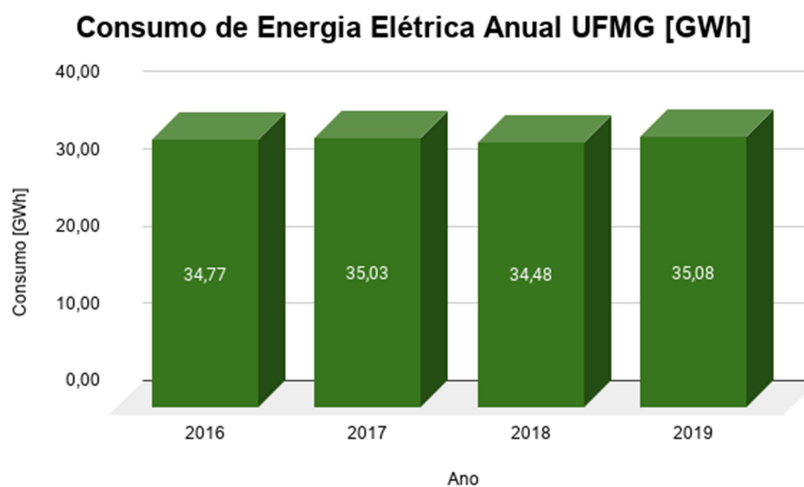
A UFMG ocupa uma área de, aproximadamente, 12,7 milhões de m² e possui área construída equivalente a 699.630 m². Suas edificações datam de diversos períodos tendo o processo de transferência das Unidades Acadêmicas para o *Campus Pampulha* se iniciado nos anos 1960, alcançando notável aceleração a partir de 1998, quando a UFMG lançou o Projeto *Campus 2000*, voltado à consolidação do *Campus*. Após este período a adesão ao Reuni a partir de 2007 deu início a um novo ciclo de expansão denominado *Campus 2010* com a implantação dos Centros de Atividades Didáticas (CAD) e ampliação de unidades existentes.

Paralelamente à execução do programa de transferência das Unidades Acadêmicas para o *Campus Pampulha* e de consolidação dos demais campi, a UFMG apresenta dois tipos de crescimento. O primeiro, identificado como vegetativo, absorve as pequenas intervenções e adequações necessárias ao espaço físico, para possibilitar uma resposta satisfatória às alterações que ocorrem com o passar dos anos. Enquadram-se, nesse caso, as adequações espaciais para recebimento de novos equipamentos, as reformas internas para melhorar as condições de trabalho e as ampliações de espaço com vistas ao crescimento continuado do ensino, da pesquisa e da extensão. Essas intervenções fazem parte do cotidiano da Instituição e acontecem, com maior intensidade, nos espaços em que as condições tecnológicas são preponderantes (UFMG, 2020a, grifo nosso).

A análise de conforto dos espaços construídos da UFMG é fator preponderante para não apenas garantir a implementação de projetos novos adequados e reduzir a necessidade de uso de condicionamento artificial nos espaços, que impactará no aumento do consumo de energia das edificações, mas também para direcionar recursos relativos à necessidade de intervenção. De acordo com dados do Departamento de Projetos da Instituição, verifica-se demanda significativa para instalação de infraestrutura para recebimento de aparelhos de condicionamento artificial do ar. Demandas essas que foram sustadas em 2019 pelo Ofício PRA-231/2019, para os casos exclusivamente de conforto, devido aos cortes no orçamento da instituição (UFMG, 2019).

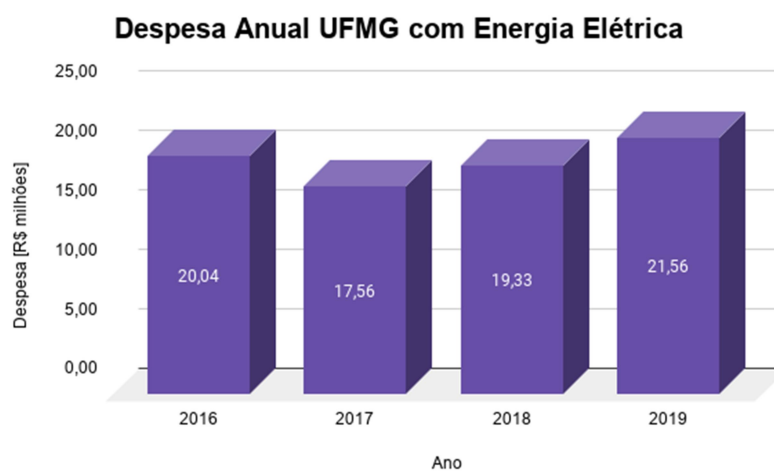
No ano de 2017, as despesas com energia elétrica totalizaram aproximadamente R\$ 17,5 milhões nos diversos campi, chegando a R\$ 21,4 milhões em 2019. Conforme pode ser observado nas Figuras 15 e 16 não houve grande variação de consumo entre 2016 e 2019, porém os gastos com energia vêm aumentando devido ao crescente aumento tarifário. Isto aponta para a importância em se trabalhar incessantemente na eficiência energética como forma de diminuição de despesas e de uma operação sustentável da UFMG.

Figura 15 – Consumo de energia elétrica anual da UFMG



Fonte: UFMG, 2022

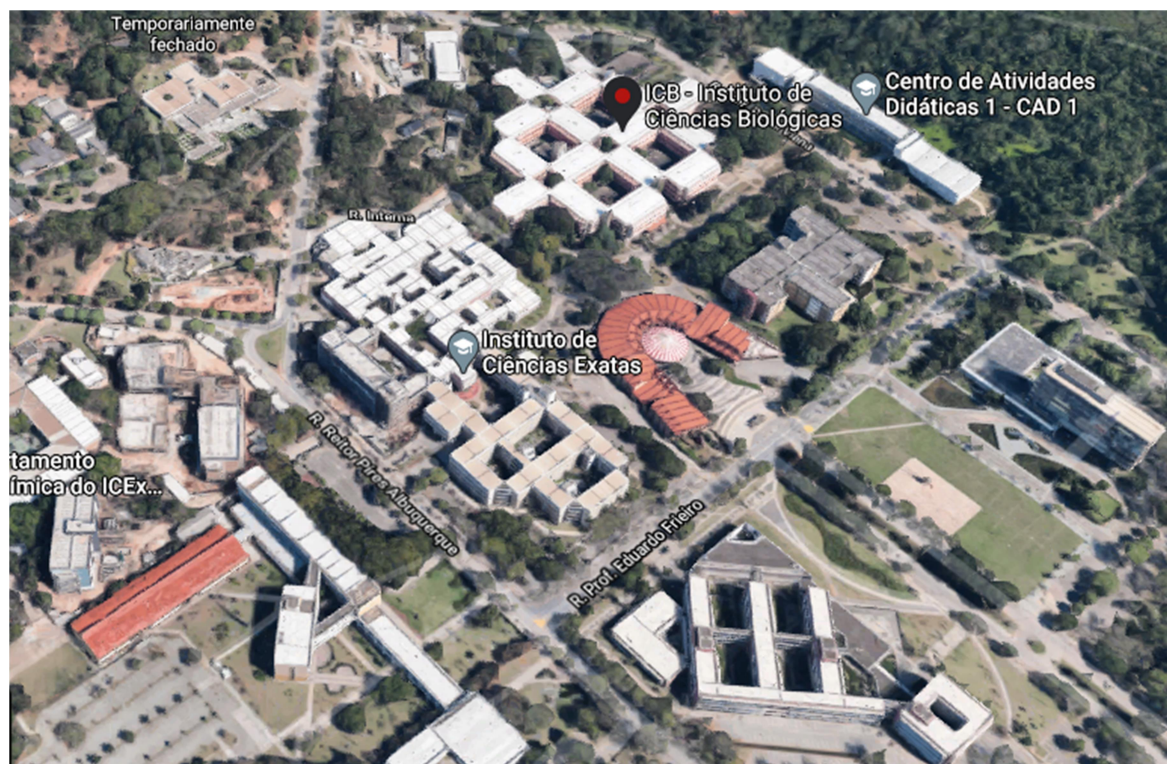
Figura 16 – Despesa anual da UFMG com energia elétrica



Fonte: UFMG, 2022

Buscando a redução das despesas com energia e o impacto da UFMG ao meio ambiente, foi criada a UFMG Sustentável, que é uma ação institucional, fruto dos trabalhos da Comissão Permanente de Gestão Energética, Hídrica e Ambiental (CPGEHA) da UFMG, que tem o objetivo de divulgar ações relacionadas à sustentabilidade nos *campi* da Universidade. Onde a sustentabilidade é abordada com ênfase nas dimensões energética, hídrica e ambiental.

Figura 17 – Vista aérea de diversas edificações do Campus da UFMG



Fonte: GOOGLE, 2021

Figura 18 – Exemplos de volumetrias encontradas nas Edificações do Campus da UFMG

(a) formas curvas (FAR)



Fonte: GOOGLE, 2021.

(c) Pilotis (ICB)



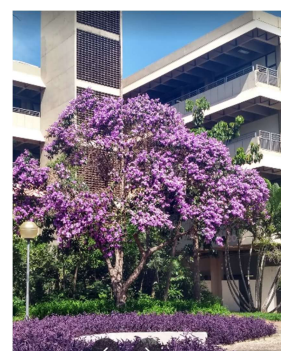
Fonte: UFMG, 2018.

(b) Diferentes tipos de proteção solar para diferentes orientações
(bloco 1 e 2 ENG)



Fonte: WIKIPEDIA, 2021.

(d) Corredores externos (ICB)



Fonte: GOOGLE, 2021

(e) formato irregular (ENG)



Fonte: UFMG, 2011.

Pelas imagens apresentadas nas Figuras 18 e 19 pode-se verificar que, ao se comparar as volumetrias apresentadas para confecção do método simplificado (Figura 15 do item 3.4) e as volumetrias presentes no *Campus* UFMG, as edificações possuem volumetrias bem mais diversas com diferentes alturas de pavimentos, presença intensiva de pilotis, tratamento diferenciado nas fachadas e presença de corredores externos.

Três prédios foram selecionados para aplicação da simulação e método simplificado, sendo eles Anexo Dança da Escola de Belas Artes, EBA, Bloco 2 da Faculdade de Educação, FAE e Bloco H Instituto de Ciências Biológicas, ICB. Esses prédios foram

escolhidos por representarem tecnologias construtivas diferentes entre si e necessitarem de ajustes para utilização do Metamodelo.

O Anexo Dança EBA é uma edificação ainda em fase de construção, sua concepção é de 2010 (MACIEL; MALARD, 2012). O prédio será utilizado para implantação de uma biblioteca, gabinetes de professores, salas administrativas e salas de dança. Possui cinco andares, dois elevadores e área total de 2880 m².

Já o bloco H do ICB foi concebido entre 1968 e 1969. Há registros de que tenha sido inaugurado nos anos 1970, por volta de 1973. O ICB foi concebido em um sistema modular, com estrutura tipo estrado de módulos de 1,24 m. É formado por um pavilhão de plantas retangulares articuladas pelo lado menor, resultando na alternância entre pátios quadrados pequenos e grandes, sendo os pátios grandes ocupados parcialmente por auditórios semienterrados com tetos-jardim (MACIEL; MALARD, 2012). O bloco H possui quatro andares, sendo o térreo pilotis com área total de 1680 m². Esse bloco possui salas de aula e seminários, além de uma cantina. É possível observar a modulação do ICB na Figura 16c do item 3.7.

O terceiro prédio simulado foi o bloco 2 da FAE. Este prédio foi um dos primeiros a ser construído no *campus* Pampulha, juntamente com o prédio da Reitoria. Não foi possível verificar a data de sua concepção, sendo inaugurado em 1965 para ser utilizado como Colégio Universitário (MACIEL; MALARD, 2012). É constituído de estrutura de concreto com fechamento nas fachadas nordeste e sudoeste em esquadria metálica e placas cimentícias e nas fachadas noroeste e sudeste em alvenaria. A cobertura é constituída de estrutura metálica com telhas de amianto, possuindo forro de PVC e gesso nos ambientes de permanência prolongada. Atualmente abriga salas de aula, biblioteca, salas administrativas e um auditório da Faculdade de Educação. Possui apenas um andar com área de 2600 m².

5. RESULTADOS

Os resultados obtidos desta pesquisa foram: análise do potencial de horas ocupadas em conforto térmico (PHO_{Ct}), levantamento das edificações do *Campus* UFMG verificando a aplicabilidade do método simplificado do INI-C, diagnóstico dos níveis de PHO_{Ct} das edificações nas quais foi possível aplicar o método simplificado e os resultados das simulações termoenergéticas realizadas.

5.1. Clima de Belo Horizonte

De acordo com a classificação de Köppen, Belo Horizonte é classificada como Cwa, clima quente e temperado com invernos amenos (VELOSO; SOUZA, 2018). O *software* Climate Consultant 6.0 indicou que uma edificação em Belo Horizonte pode obter, sem utilização de estratégias para aumentar o conforto, pelo menos 65,6% de percentual de horas ocupadas em conforto térmico, para os arquivos climáticos INMET, utilizando a ventilação natural. Este dado possibilita analisar como as edificações do *Campus* estão se comportando em relação ao potencial de conforto do clima e avaliar se estão utilizando de estratégias adequadas para garantir um maior número de horas dentro da faixa de aceitabilidade de conforto térmico para o usuário.

De acordo com o *software*, as cinco principais estratégias para aumentar o PHO_{Ct} de edificações neste clima, em ordem de importância, são: 1) boa ventilação natural associada com janelas sombreadas; 2) direcionadores de ventos para maximizar a ventilação natural; 3) planta baixa longa e estreita para facilitar a ventilação cruzada; 4) posicionamento de portas e janelas em lados opostos para facilitar a ventilação cruzada; 5) aberturas teladas para garantir a ventilação natural permanente evitando a entrada de insetos.

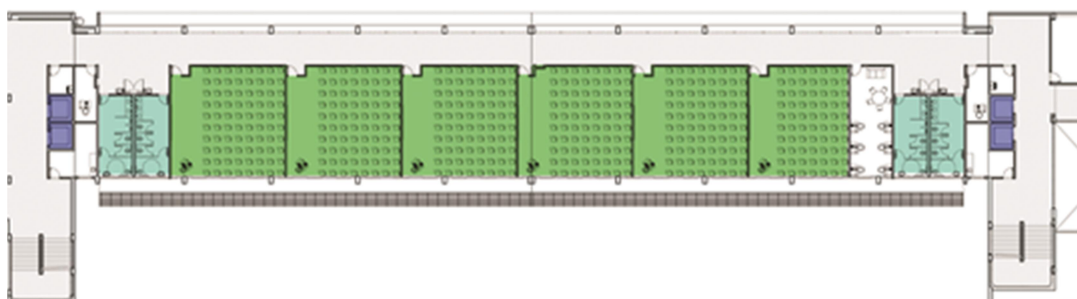
É interessante notar que das cinco estratégias apontadas pelo *software*, pelo menos três podem ser facilmente observadas em algumas edificações do objeto de estudo, sendo elas a 1, 3 e 4 conforme apresentado nas Figuras 19 e 20.

Figura 19 – Fachada do anexo do IGC com janelas de correr com brise



Fonte: GOOGLE, 2021

Figura 20 – Planta 2º pavimento do CAD1, estreita e longa com janelas em posição opostas as portas.



Fonte: Departamento de Planejamento e Projetos, 2020.

A Figura 21 apresenta a variação de temperatura anual para o clima de Belo Horizonte, bem como a zona de conforto aceitável para 80% dos ocupantes conforme ASHARE 55-2017. É importante ressaltar que a maior parte do desconforto por frio ocorre nos períodos sem Sol, ou seja, antes das 6 horas e após

as 18 horas. Como o funcionamento das edificações é das 8h00 às 22h00, grande parte desconforto por frio que aparece na Figura 21 não é percebido durante o funcionamento da UFMG. A Figura 22 apresenta a variação da temperatura ao longo do dia para o arquivo climático utilizado no estudo.

Figura 21 – Variação de Temperatura x zona de conforto (ASHRAE 55) para o clima de Belo Horizonte

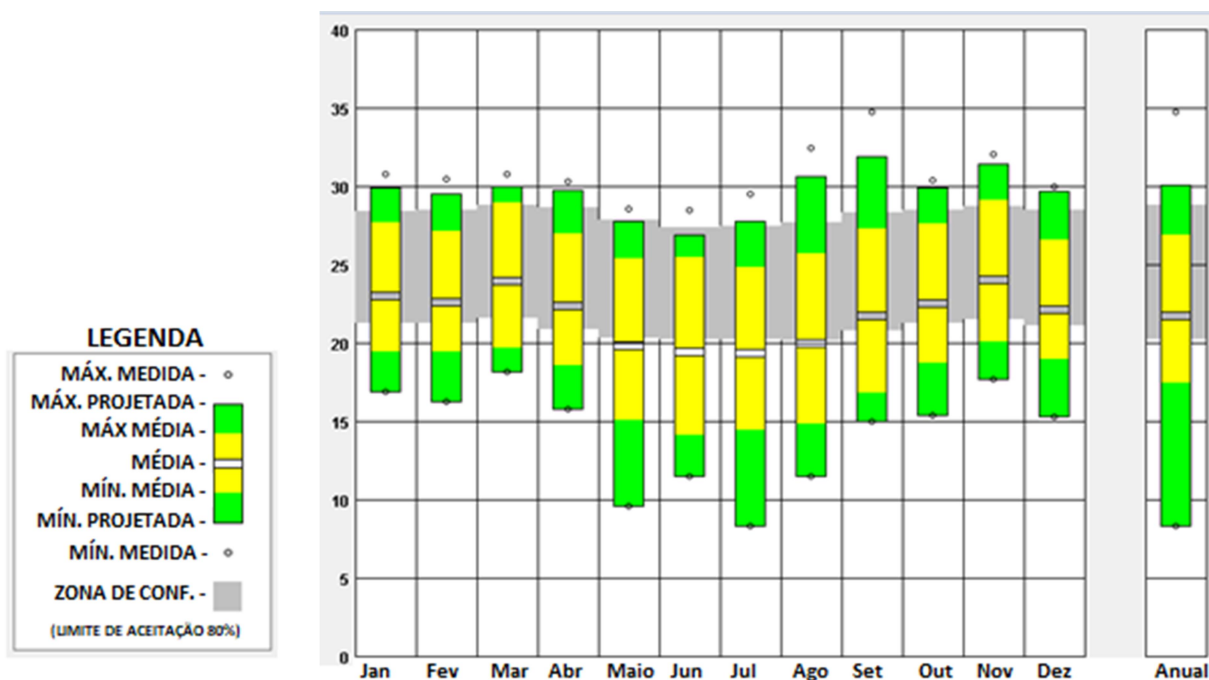
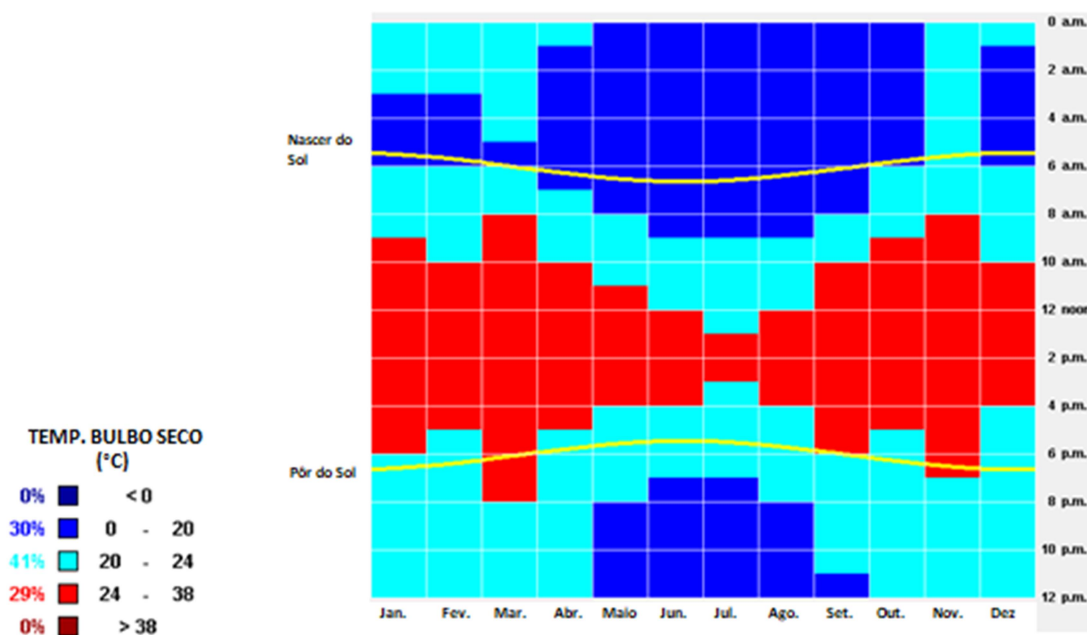


Figura 22 – Variação da Temperatura ao longo do dia para o clima de Belo Horizonte



5.2. Edificações consideradas para o estudo de caso

Para este trabalho foram levantadas plantas arquitetônicas de 47 edificações, divididas em 111 blocos apresentados na tabela do Apêndice A. Cada bloco da edificação foi analisado separadamente e depois avaliado como uma edificação.

Do total de edificações, 29 blocos ou edificações foram considerados sem interesse para a presente pesquisa, por serem utilizados predominantemente como laboratórios, auditórios e restaurantes ou por funcionarem exclusivamente por meio de climatização artificial.

5.3. Verificação da aplicabilidade do Método Simplificado

Oitenta e duas edificações ou blocos foram considerados de interesse para o presente estudo e foram categorizados em três grupos, conforme a aplicabilidade do métamodelo proposto por Rackes, Melo e Lamberts (2016): 1) aplicável, 2) aplicável com ajustes e 3) não aplicável. Para este levantamento foram considerados os limites das variáveis de entrada no Metamodelo: a volumetria e dimensões básicas como largura, comprimento, pé direito e números de andares das edificações ou blocos. Os motivos por que se verificou restrição na aplicação do método simplificado são indicados a seguir:

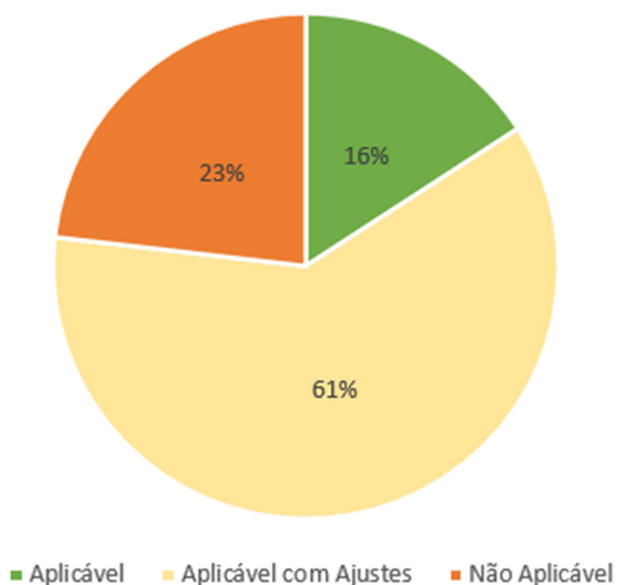
- 1) formato não retangular;
- 2) presença de aberturas zenitais;
- 3) edificação sobre pilotis;
- 4) pavimentos diferentes entre si;
- 5) comprimento da edificação ou bloco maior do que quatro vezes a sua largura;
- 6) presença de vazios no interior da edificação ou bloco;
- 7) edificação com mais de cinco andares;
- 8) edificação com presença de subsolo;
- 9) pé direito varia ao longo do andar;
- 10) comprimento da edificação ou bloco menor do que 13 m;
- 11) ambientes com pé-direito duplo;
- 12) altura total do prédio ultrapassa 16 m;
- 13) parte do prédio possui auditórios;
- 14) presença de escadas externas.

Nesta avaliação foi desconsiderada a exigência do INI-C que determina que todas as salas e espaço das APPs tenham variação de área de até 10% (BRASIL, 2021a). A exigência foi desprezada porque foi encontrada apenas uma edificação que atende a esta exigência, o que tornaria inviável a aplicação do Metamodelo nas edificações da UFMG.

Considerando os 82 edifícios de interesse para a aplicação do método simplificado, foi observado que aproximadamente 84% das edificações analisadas não poderiam ser analisadas diretamente pelo Metamodelo como proposto pelo INI-C. O Apêndice A apresenta o resultado da análise da aplicabilidade do método simplificado bem como os motivos da restrição na aplicabilidade para cada bloco ou edificação considerados, conforme índices para restrição da aplicação apresentados acima.

A Figura 23 apresenta a aplicabilidade em percentual. Considera-se que, sem a possibilidade de ajustes, o método mostrou-se bastante limitado em sua aplicação, e que, portanto, sua aplicação se tornaria desinteressante para edificações que apresentassem características semelhantes às das edificações da UFMG. Acredita-se que o mesmo ocorra em diversas edificações de *campi* universitários de instituições de ensino públicas no país.

Figura 23 – Aplicabilidade do método simplificado (percentual da amostra)



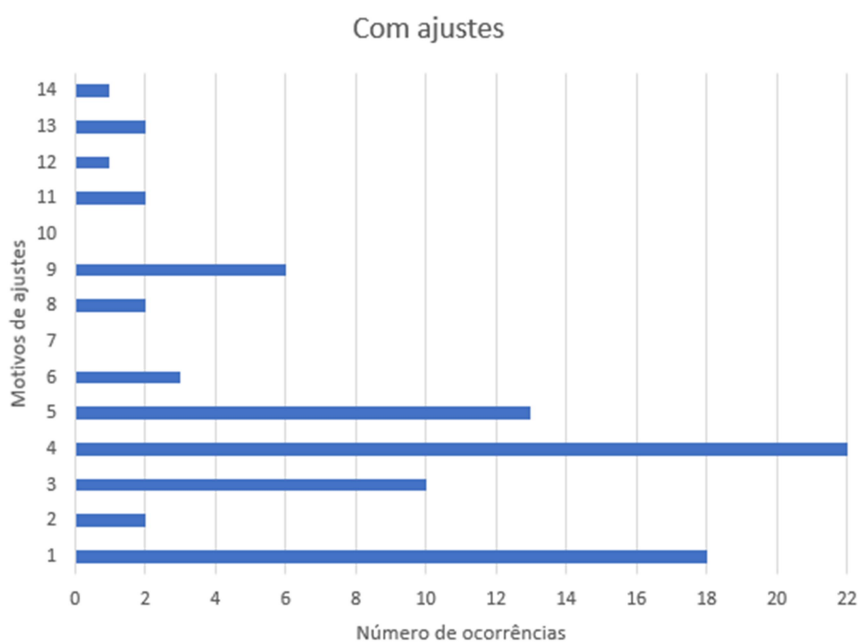
Fonte: Autor.

Foi feita contabilização de fatores limitantes para a aplicação do Metamodelo em edificações do Campus da UFMG, divididos em edificações nas quais foi

considerado a aplicação com ajustes e a impossibilidade de aplicação do Metamodelo, destacadas nas Figuras 25 e 29 detalhadas a seguir.

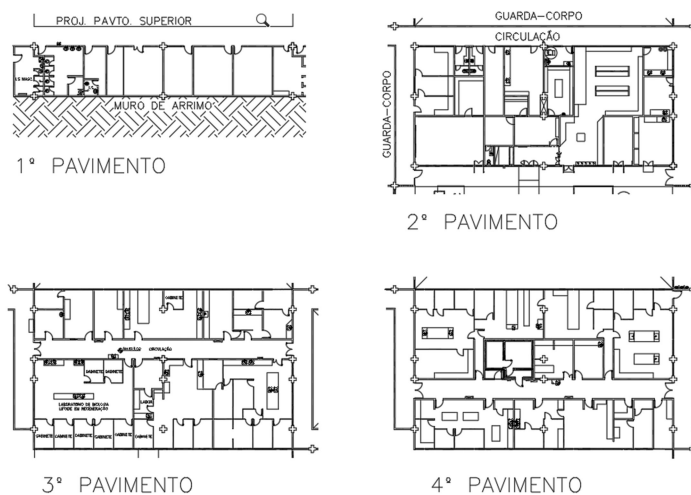
A ocorrência de fatores limitantes que requereu ajustes, Figura 24, demonstra que os três principais motivos são o “4”, “1” e “5”. O principal motivo (4) é devido ao edifício não possuir andares semelhantes entre si. Como exemplo podemos citar o Bloco N do ICB, que, devido à declividade do terreno, o primeiro pavimento é menor do que os demais, conforme pode ser visto na Figura 25.

Figura 24 – Restrições na aplicação do metamodelo x Quantidade de ocorrências



Fonte: Autor.

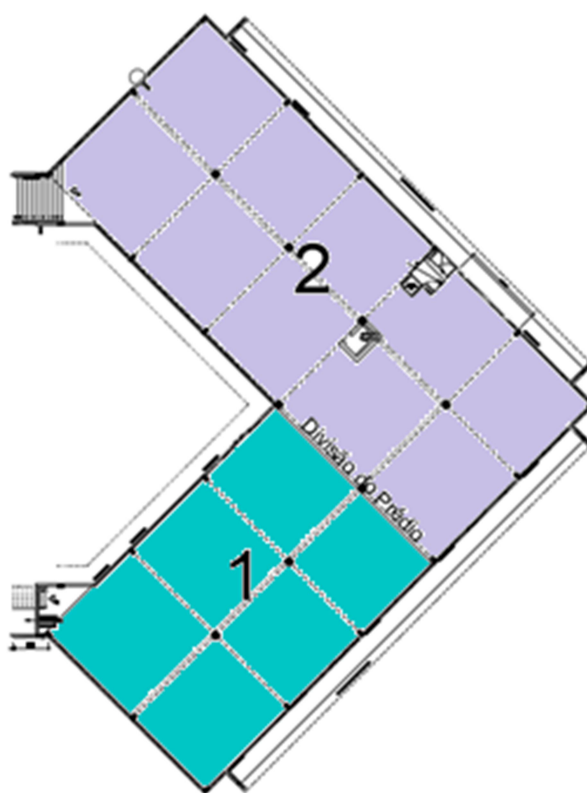
Figura 25 – Plantas do Bloco N do ICB (2011)



Fonte: Departamento de Planejamento e Projetos, 2020.

Para o motivo “1” o edifício, por não ser retangular, necessitaria de ajustes nas suas dimensões básicas (largura e comprimento) ou até a necessidade de dividir o edifício em mais de um bloco para se aplicar o Metamodelo. Temos como exemplo o Bloco Biblioteca da Faculdade de Ciências Econômicas (FACE), que possui formato em “L” e deveria ser dividido para formar dois retângulos como mostrado na Figura 26. A Figura 27 apresenta o edifício Anexo Dança da EBA, que é uma edificação que tem essa limitação. Neste caso a proposta foi de adequação nas dimensões de largura e comprimento de modo a manter a área edificada.

Figura 26 – Plantas do Bloco Biblioteca da FACE (2003)



Fonte: Departamento de Planejamento e Projetos, 2020, adaptado pelo autor

Figura 27 – Imagem do Anexo Dança da EBA.



Fonte: Google, 2021.

Já o motivo “5” é devido ao comprimento da edificação ser maior do que quatro vezes sua largura, a solução proposta é semelhante à dos casos com o motivo “1”: divisão em blocos ou adequação nos parâmetros de comprimento e largura. A partir desta análise foram propostos os ajustes descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – proposição de ajustes para aumento da aplicabilidade do Metamodelo - Continua

| Num. | Limitação | Ajuste proposto |
|-------------|---|---|
| 1 | Formato não retangular | Construção de bloco com mesma área e formato regular. |
| 2 | Presença de aberturas zenitais | Permitir até uma porcentagem limite a ser definida. Ex.: até 1% da área da cobertura. |
| 3 | Edificação sobre pilotis | Contabilizar pilotis como andar. |
| 4 | Pavimentos diferentes entre si | Utilizar média da largura e comprimento. |
| 6 | Presença de vazios no interior da edificação ou bloco | Permitir até uma porcentagem limite a ser definida. Ex: até 5% da área |
| 7 | Edificação com mais de cinco andares | - |
| 8 | Edificação com presença de subsolo | - |
| 9 | Pé direito varia ao longo do andar | Considerar o pé direito médio. |
| 10 | Comprimento da edificação ou bloco menor do que 13 m | - |

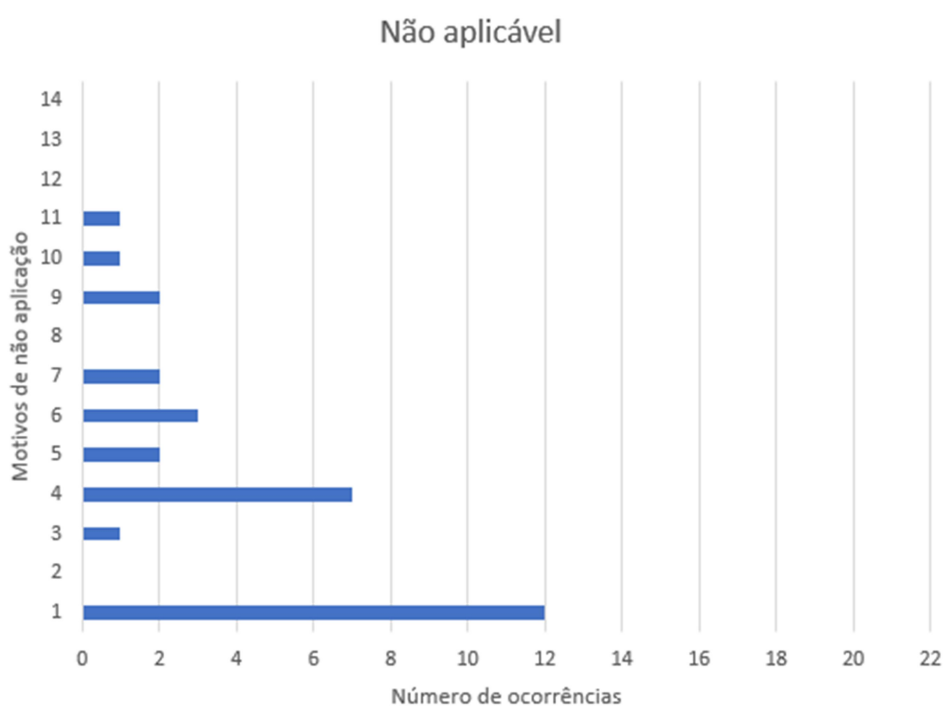
Tabela 8 – proposição de ajustes para aumento da aplicabilidade do Metamodelo - Continuação

| | | |
|-----------|--|--|
| 11 | Ambientes com pé-direito duplo | Desconsiderar ambientes com pé-direito duplo ou mezaninos. |
| 12 | Altura total do prédio ultrapassa 16 m | Ajustar o valor de pé direito para manter altura máxima de 16 m, desde que o edifício tenha até cinco andares. |
| 13 | Parte do prédio possui auditórios | Desconsiderar a presença dos auditórios, desde que não ocupem área maior do que uma porcentagem da edificação. Ex.: até 20%. |
| 14 | Presença de escadas externas | Desconsideração da área da escada caso seja completamente externa ao volume. |

Fonte: Autor.

No gráfico da Figura 28 é possível observar que a maioria das edificações nas quais o Metamodelo não seria aplicável têm as características 1 e 4, ou seja, formato não retangular e andares diferentes entre si. A diferença entre não ser aplicável ou aplicável com ajustes é o acúmulo de características que impossibilitariam a aplicação do Metamodelo ou a dificuldade de se adequar os parâmetros relacionados a determinada característica por possuir dimensões ou formas muito distintas dos seus limites.

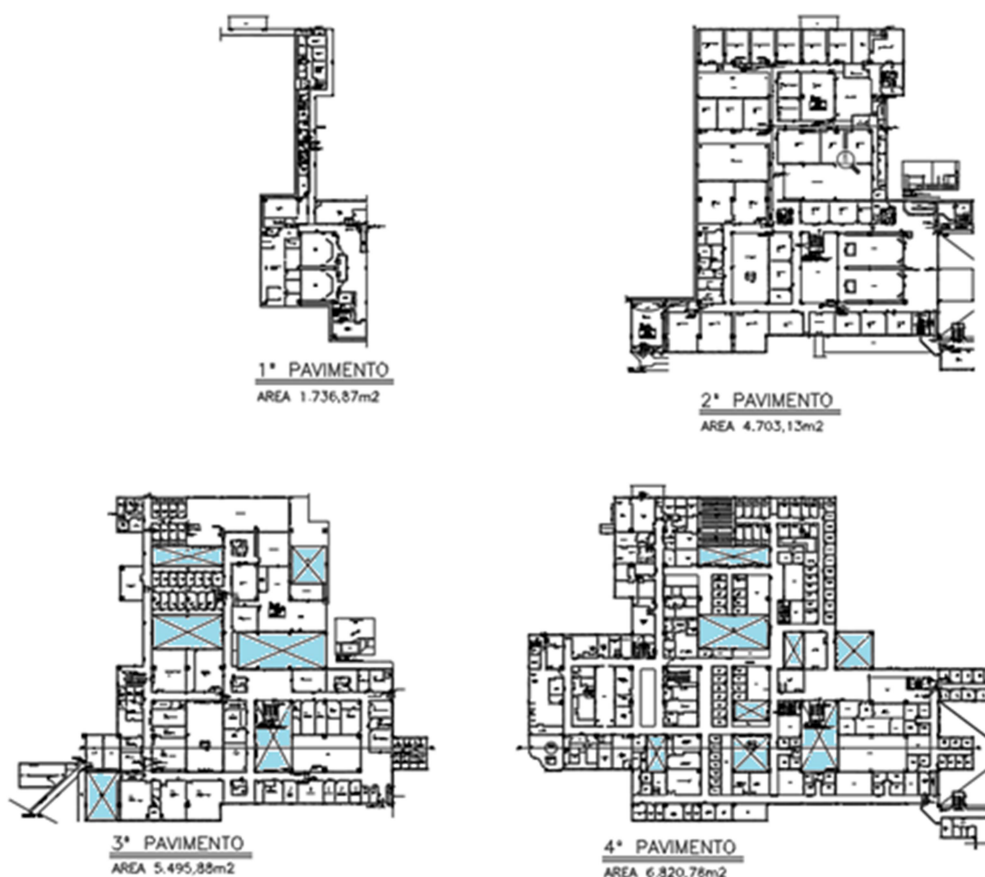
Figura 28 – Motivos de não aplicação x Quantidade de ocorrências



Fonte: Autor.

Como exemplo de edificação considerada como não aplicável devido ao seu formato não retangular, podemos citar o Departamento de Física do Instituto de Ciências Exatas (ICEX) que, além de possuir formato distinto de um retângulo, possui todos os andares diferentes entre si, apresenta vazios e ambientes com pé-direito duplo, inviabilizando assim a aplicação do Metamodelo. A Figura 29 apresenta as plantas do Departamento de Física para ilustrar o descrito.

Figura 29 – Plantas do Departamento de Física do ICEX (2004)



Fonte: Departamento de Planejamento e Projetos, 2020.

5.4. Aplicação do Metamodelo – Grupo 1

Treze edificações tiveram o conforto térmico avaliado pelo método simplificado. Os parâmetros de entrada das edificações avaliadas pelo método simplificado estão apresentados no Apêndice B.

A Tabela 9 apresenta a estimativa da fração de horas em desconforto por calor obtidos com a utilização metamodelo para as edificações do Grupo 1. Foram obtidos valores de PHOCT que variam entre 96,8% e 52,8% (ICB-Bloco P e VET-Bloco 13).

Tabela 9 – Estimativa da fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação obtida metamodelo para edificações do Grupo 1

| Edificação | FHdesc (%) | PHOOct considerado |
|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| ICB-Bloco B | 30,4 | 69,6 |
| ICB-Bloco C | 47,1 | 52,9 |
| ICB-Bloco E | 46,6 | 53,4 |
| ICB-Bloco F | 43,9 | 56,1 |
| ICB-Bloco I | 38,8 | 61,2 |
| ICB-Bloco L | 35,5 | 64,5 |
| ICB-Bloco M | 19,1 | 80,9 |
| ICB-Bloco P | 3,2 | 96,8 |
| ICB-Bloco Q | 27,0 | 73,0 |
| ENG-CPDE | 5,5 | 94,5 |
| VET-Boco 13 | 47,8 | 52,2 |
| PRA-DGA | 6,9 | 93,1 |
| EBA-Anexo Gravura | 16,6 | 83,4 |

Fonte: Autor.

5.5. Ampliação da aplicabilidade do Metamodelo - Grupo 2

Para verificar a possibilidade de ampliação do Metamodelo, três edificações do Grupo 2 foram selecionadas para avaliação pelo Metamodelo ajustando os seus parâmetros que estavam fora dos limites do Metamodelo e por simulação considerando os valores reais. As edificações avaliadas do grupo 2 foram o Anexo Dança da EBA, o Bloco H do ICB e o Bloco 2 da FAE.

5.5.1. Aplicação Metamodelo – Grupo 2

Os motivos de ajustes para o Anexo Dança da EBA foram: formato não retangular, ambientes com pé-direito duplo e altura maior do que 16 m; edificação sobre pilotis para o Bloco H do ICB e pé-direito variando ao longo do andar para o Bloco 2 da FAE. Os ajustes feitos para cada edificação são descritos a seguir.

5.5.1.1. Anexo Dança da EBA

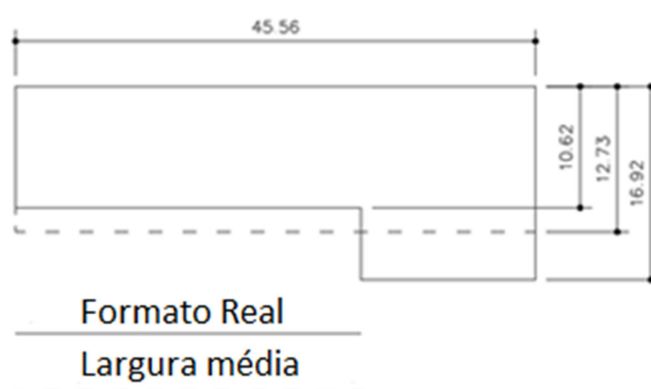
Na aplicação do método simplificado no Anexo Dança da EBA, foi necessário realizar três ajustes nos parâmetros de entrada do Metamodelo: 1) a edificação não possui um formato retangular e, portanto, foi criada uma profundidade “virtual” de modo a manter a área, conforme indicado na Figura 24; 2) a altura do pé-direito foi reduzida de 3,75 m para 3,2 m para que o edifício não ultrapassasse o limite de altura total de 16 m; 3) foi reduzido o valor de densidade de potência nos ambientes de permanência prolongada de 39,9 W/m² para 25,0 W/m² pois extrapolava o limite

do Metamodelo que é de $25,0 \text{ W/m}^2$. Essa alta densidade de potência nos ambientes da edificação se deve, principalmente, aos ambientes destinados a aulas de dança, que possuem uma iluminação diferenciada, com densidade de potência de 50 W/m^2 , além disso o projeto utiliza iluminação fluorescente e muitos ambientes de permanência como gabinetes possuem equipamentos como computadores o que aumenta a densidade de potência instalada.

Os demais valores de entrada utilizados no Metamodelo, bem como seus limites, estão apresentados no Apêndice B. A Figura 21 do item 5.2 mostra uma foto aérea da edificação, a Figura 30 apresenta o ajuste feito na largura da edificação. A Tabela 10 apresenta a estimativa da fração de horas de desconforto por calor para o Anexo Dança da EBA.

O Anexo Dança foi a única edificação em que não foi considerada a utilização de ventiladores de teto, pois os projetos analisados não apresentavam estes equipamentos. Neste sentido, a velocidade do ar utilizada no Metamodelo foi de 0 m/s , já que seu parâmetro de entrada da velocidade do ar considera apenas o acréscimo na velocidade devido ventiladores, sendo o valor 0 a representação de que não foram considerados ventiladores de teto.

Figura 30 – Indicação do ajuste realizado na largura da edificação



Fonte: Autor.

Tabela 10 – Estimativa da fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação obtida pelo metamodelo para o Anexo Dança da EBA.

| Edificação | FHdesc (%) | PHOCT considerado (%) |
|--------------------------|-------------------|------------------------------|
| Anexo Dança - EBA | 10,9 | 89,1 |

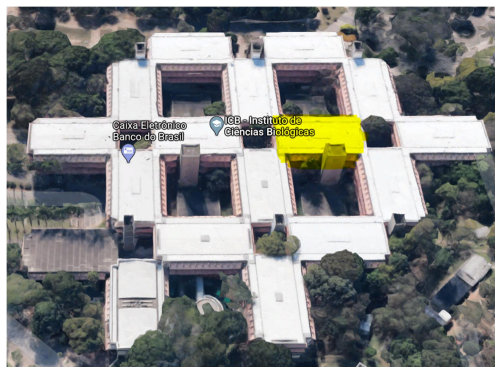
Fonte: Autor.

5.5.1.2. Bloco H do ICB

Na aplicação do método simplificado no Bloco H do ICB, o parâmetro geométrico em que foi necessário realizar adequação foi a presença de pilotis, não prevista pelo Metamodelo. O edifício possui quatro andares, sendo o primeiro em pilotis, portanto foram realizadas duas análises no edifício, considerando-o com três ou com quatro andares, para verificar qual a melhor forma de analisar edificações sobre pilotis. Também foi necessária redução da capacidade térmica média da cobertura de 457,9 kJ/m².K para 400,0 kJ/m².K para que o valor ficasse dentro do range do Metamodelo.

A Figura 31 apresenta uma foto aérea da edificação, com o Bloco H destacado em amarelo.

Figura 31 – Imagem do ICB com o Bloco H em destaque



Fonte: Adaptado de Google, 2021.

A Tabela 3 do item 5.4 apresenta os valores adotados no metamodelo referentes ao clima, o Apêndice B, apresenta os dados de entrada referente a edificação e a Tabela 11, a estimativa da fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação considerando 3 ou 4 andares.

Tabela 11 – Estimativa da fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação obtida metamodelo

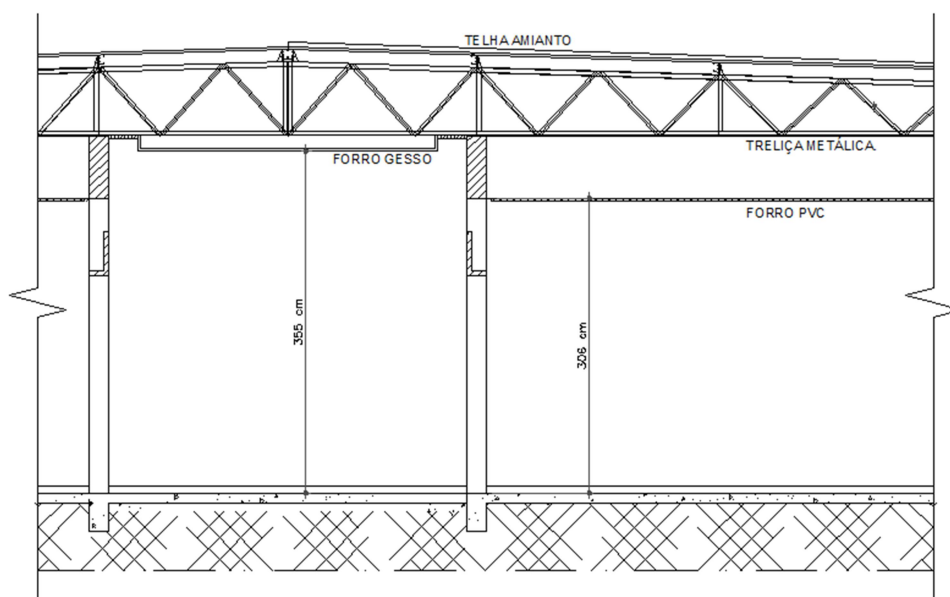
| Edificação | FHdesc (%) | PHOCT considerado (%) |
|----------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Bloco H – ICB (3 andares) | 12,3 | 87,7 |
| Bloco H – ICB (4 andares) | 15,6 | 84,4 |

Fonte: Autor.

5.5.1.3. Bloco 2 da FAE

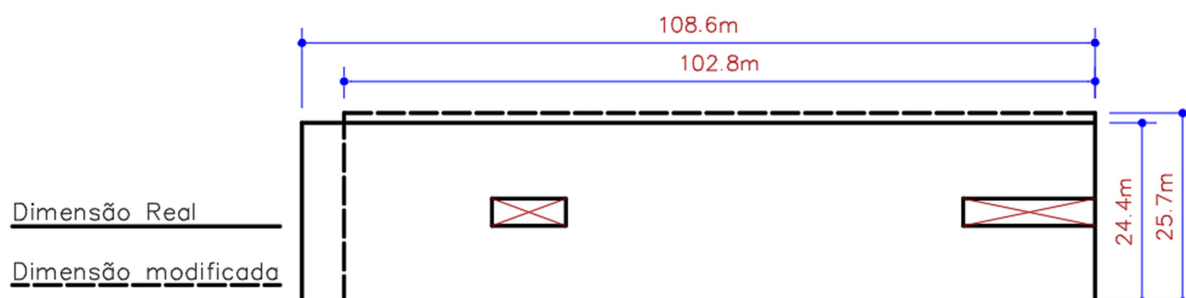
Na aplicação do método simplificado no Bloco 2 da FAE, foi necessário realizar quatro ajustes nos parâmetros de entrada do Metamodelo: 1) foi alterado o comprimento e a largura da edificação para que o comprimento não ultrapassasse quatro vezes a largura a sem modificar a área. Foi alterado o comprimento de 108,6 m e largura de 24,4 m para 102,8 m e 25,7 m respectivamente, sendo está a forma para permitir a utilização do Metamodelo descaracterizando o mínimo possível a volumetria da edificação estudada. 2) O pé-direito foi considerado como sendo de 3,1 m que corresponde a um valor médio, pois a cobertura é em telha de amianto com forro em diferentes alturas, conforme pode ser observado na Figura 32. 3) redução no valor de absorvância solar para 0,8, pois é o limite do programa. Segundo Coelho, Gomes e Dornelles (2017), telhas de fibrocimento envelhecidas sem manutenção podem chegar a absorvância de 0,85 devido aos processos de envelhecimento a que são submetidas como: carbonatação, eflorescência e desenvolvimento de fungos. 4) foi desconsiderado os dois vazios no interior da edificação, conforme pode ser observado na Figura 33. Todos os valores de entrada utilizados no Metamodelo, bem como seus limites estão apresentados no Apêndice B. A Figura 16a do item 3.6 mostra uma foto aérea da edificação, a Figura 35 mostra as alterações de dimensão realizadas e a Tabela 12 apresenta a estimativa da fração de horas de desconforto por calor para o Bloco 2 da FAE.

Figura 32 – Corte com diferentes valores de pé direito do Anexo 2 da FAE



Fonte: Autor.

Figura 33 – Indicação do ajuste realizado na profundidade e largura da edificação



Fonte: Autor.

Tabela 12 – Estimativa da fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação obtida metamodelo para o Anexo Dança da EBA.

| Edificação | FHdesc (%) | PHOCT considerado (%) |
|---------------|------------|-----------------------|
| Bloco 2 - FAE | 31,6 | 68,4 |

Fonte: Autor.

5.5.2. Aplicação do Método de Simulação

O anexo Dança da EBA, o Bloco H do ICB e o Bloco B da FAE tiveram seus PHOCT avaliados por meio de simulação computacional. Nesse caso, as características originais das edificações, tais como volumetria, pé-direito e dimensões, foram mantidas.

Nas Figuras 34, 35 e 36 é possível observar o PHOCT de cada ambiente do anexo Dança da EBA, do Bloco H do ICB e do Bloco 2 da FAE respectivamente. As áreas marcadas em cinza referem-se a áreas de permanência transitória tais como: depósitos, despensas, banheiros, áreas de circulação em geral e áreas técnicas e, por esse motivo, não tiveram o conforto térmico avaliado.

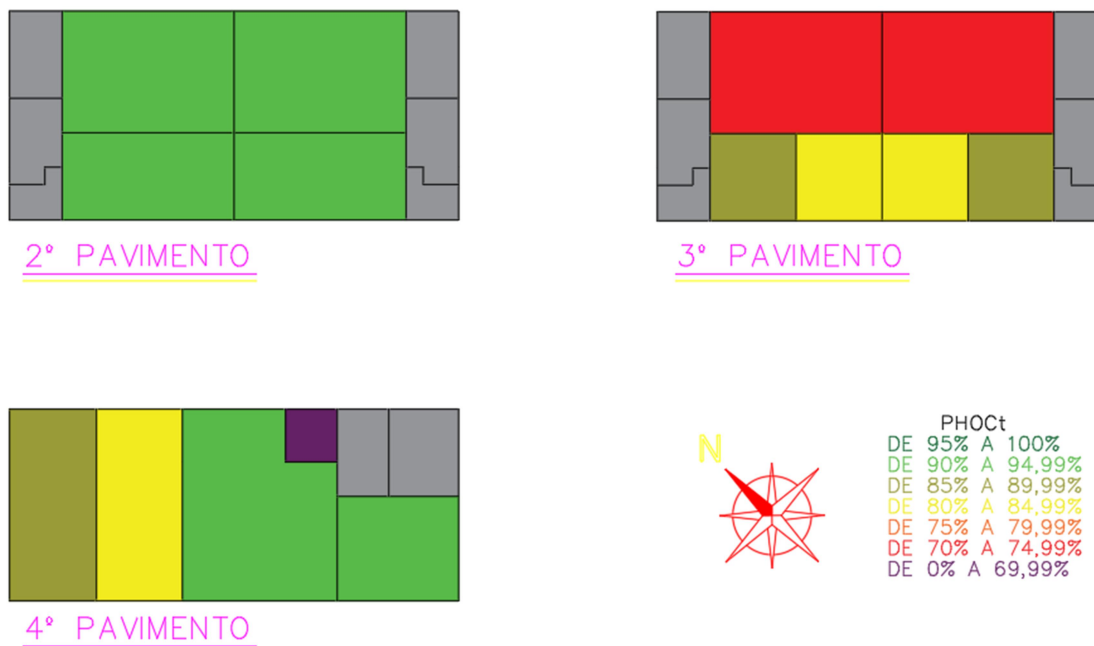
O Apêndice C apresenta o POCHt de cada ambiente destas edificações e o PHOCT médio de cada edificação.

Figura 34 – PHOCT do Anexo Dança da EBA com marcação do percentual de conforto obtido por simulação



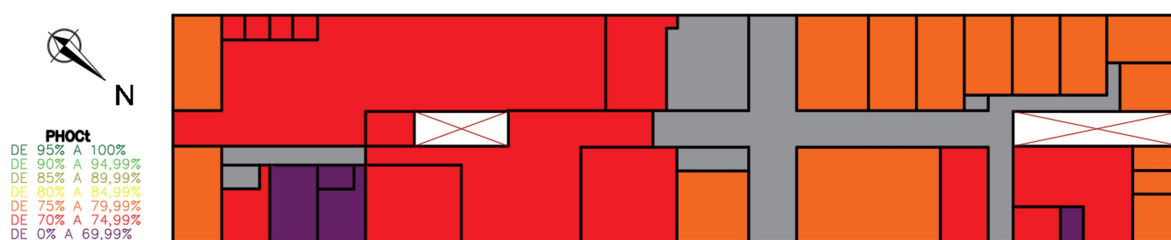
Fonte: Autor.

Figura 35 – PHOCT do Bloco H do ICB por simulação



Fonte: Autor.

Figura 36 – PHOCT do Bloco 2 da FAE por simulação



Fonte: Autor.

5.5.3. Anexo Dança da EBA

O PHOCT médio obtido para a edificação Anexo dança da EBA foi de 91,7%, para o Bloco H do ICB o PHOCT foi de 85,6% e para o Bloco 2 da FAE, 74,1%. O ambiente com pior desempenho para esta edificação foi a Sala de Dança do 4º pavimento que obteve PHOCT de 84,1%. Este ambiente possui alta densidade de potência de iluminação e equipamentos ($50,0 \text{ W/m}^2$), bem como ocupantes com maiores taxas metabólicas em função da atividade exercida ali; possui pé-direito duplo e, por isso, recebe radiação da cobertura, aumentando o ganho de calor e, devido à sua orientação, conforme pode ser visto na Figura 36, paredes nas fachadas nordeste, noroeste e sudoeste recebendo radiação durante todo o período solar.

5.5.4. Bloco H do ICB

Da mesma forma, no Bloco H do ICB, os níveis de conforto térmico dos ambientes com paredes externas voltadas para o Norte são menores do que o restante.

Pelo método de simulação computacional, as salas do terceiro pavimento com orientação nordeste (salas 1 e 4; PHOCT 70% e 74%) obtiveram desempenho inferior quando comparadas às salas com orientação sudoeste (salas 2, 3, 5 e 6; PHOCT 87%, 81%, 83% e 85% respectivamente), mesmo sendo considerada mesma densidade de ocupação e de consumo, o que demonstra como a orientação influencia no conforto dos ocupantes. O ambiente que apresentou pior desempenho foi a Copa do 4º pavimento que apesar de possuir uma densidade de ocupação menor do que as salas de aulas, 0,42 pessoas/m² contra 0,67 pessoas/m² nas salas de aula, tem a maior densidade de potência instalada, pois foram encontrados equipamentos como micro-ondas e geladeira em ambiente que possui apenas 14,1 m², resultando na potência instalada de 82,2 W/m², quase quatro vezes maior do que a dos ambientes de salas de aula em que foi considerada potência de 23,8 W/m².

5.5.5. Bloco 2 da FAE

O Bloco 2 da FAE apresenta os piores resultados dentre as três edificações analisadas. Esses resultados podem ser explicados pela envoltória da edificação. A maior parte das paredes externas é de placas cimentícias instaladas em esquadrias metálicas pintadas de vermelho resultando em uma transmitância térmica alta (3,6 W/m².K), capacitância térmica baixa (48,8 kJ/m².K) e alta absorvância térmica (0,7). Isso se repete na cobertura que é construída em telhas de amianto - que já estão com o exterior escurecido devido ao envelhecimento - com forro de PVC, resultando em alta absorvância térmica (0,8) e baixa capacitância térmica (16 kJ/m²K).

A Tabela 13 permite comparar os valores de PHOCT obtidos pelo uso do Metamodelo e os dados obtidos por simulação.

Tabela 13 – comparação entre os valores de PHOCT obtidos pelo metamodelo e por simulação computacional

| Edificação | PHOCT metamodelo | PHOCT simulação computacional | Diferença percentual |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Anexo dança da EBA | 89,1% | 91,7% | -2,6% |
| Bloco H do ICB | 87,7% (3 and.) | 85,6% | 2,1% |
| | 84,4% (4 and.) | | -1,6% |
| O Bloco 2 da FAE | 68,4% | 74,1%. | -5,7% |

Nota-se que, de modo geral, o metamodelo tendeu a dar resultados piores que os resultados obtidos por simulação. No item a seguir esses resultados serão discutidos em maior detalhe.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

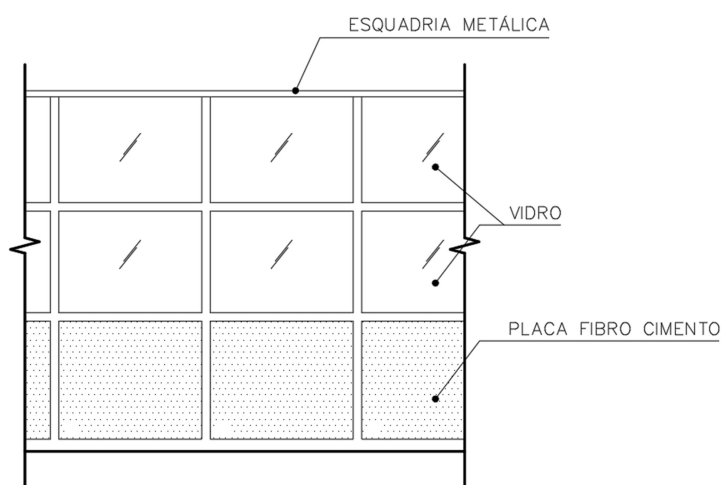
Para as avaliações do percentual de horas em conforto se tornarem mais expeditas, o Metamodelo proposto pelo INI-C apresenta facilidade de uso e torna o processo mais rápido em relação à simulação. No entanto, sem adequação nos parâmetros dos edifícios, o Metamodelo pode não ter o objetivo, de incentivar a etiquetagem de edifícios naturalmente ventilados ou híbridos, atingido, visto que o Metamodelo teria uma aplicação muito limitada, sendo possível sua aplicação em apenas 16% dos edifícios (13 edifícios de um total de 82). Além disso, o INI-C em sua publicação em janeiro de 2021, inseriu mais uma restrição: a necessidade de variação das áreas dos ambientes de permanência prolongada ser menor ou igual a 10%. Na UFMG, apenas o Bloco P do ICB seria compatível com essa restrição, reduzindo ainda mais a aplicação do método simplificado, tornando-a inviável para edificações universitárias de mesmo tipo.

As 13 edificações que podem ser avaliadas pelo Metamodelo sem a necessidade de ajustes (Grupo 1), tiveram o PHOCT avaliado, havendo grande variação no resultado, com PHOCT de 96,8% (ICB-Bloco P) a 52,2% (VET-Bloco 13). Mesmo em edificações com características construtivas muito semelhantes conforme pode-se verificar no Apêndice B, como é caso dos 9 blocos do ICB que foram avaliados, houve grande diferença entre os resultados, sendo que os blocos maiores e com 4 pavimentos que têm dimensões de 32,4 m x 20,0 m (Blocos B, C, E e F) obtiveram os piores resultados (69,6%, 52,9%, 53,4% e 56,1%). O melhor resultado dentre os edifícios do ICB foi do Bloco P (96,8%) que possui apenas um pavimento, dois ambientes de 244 m² e dimensões menores (32,4 m x 15,1 m). Essa variação era esperada visto que, segundo Rackes *et al.* (2016), o aumento da área e o número de andares da edificação têm grande influência na redução do desempenho térmico.

As edificações administrativas, ENG-CPDE e PRA-DGA, obtiveram resultados melhores do que as edificações de ensino (exceto pelo ICB-Bloco P), com PHOCT de 94,5% e 93,1% respectivamente. Isso pode ser explicado pela densidade de ocupação sugerida pelo INI-C para este tipo de construção de 0,10 pessoas/m², que é bem menor do sugerido para edificações de ensino de 0,67 pessoas/m² e pelo horário de funcionamento menor das 08h00 às 18h00 horas quando comparada às unidades de ensino que funcionam das 08h00 às 22h00 horas.

É interessante notar que a edificação VET-Bloco 13, que obteve o pior desempenho, de 52,2%, possui dimensões similares à dos blocos do ICB, diferenciando-se, principalmente, pela absorvância da cobertura de 0,8, devido à sua falta de manutenção que pôde ser observada em vistas aéreas, e à transmitância térmica das paredes externas, de 4,14 W/m².K, uma vez que grande parte delas são esquadrias metálicas com fechamentos de vidro e placas de fibrocimento, conforme Figura 37. O que mostra que evitar os ganhos de calor através das coberturas e paredes externas através da seleção de materiais de baixa transmitância térmica é desejável para o clima de Belo Horizonte

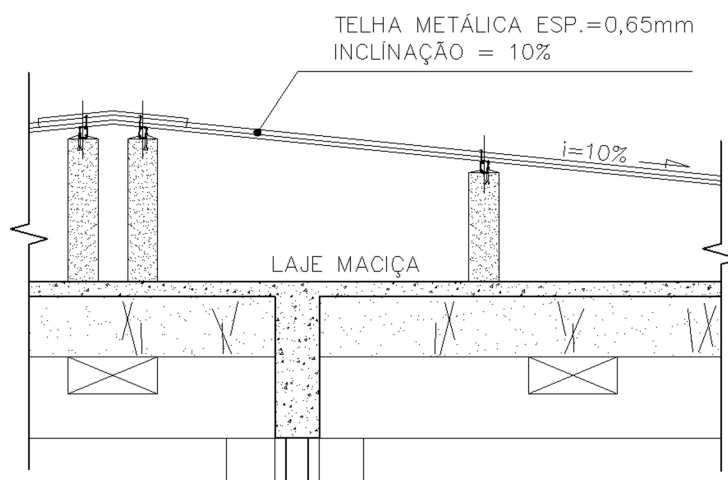
Figura 37 – Fechamento típico do Bloco 13 da VET



Fonte: Autor.

Apesar das edificações do grupo 1 terem sido consideradas aplicáveis sem ajustes na avaliação preliminar da volumetria, nos blocos do ICB, que possuem uma laje maciça de 10cm com vigas a cada 1,25m no sentido longitudinal e transversal, com impermeabilização e telha metálica conforme Figura 38, foi necessário reduzir a capacidade térmica média da cobertura de 457,9 kJ/m².K para 400,0 kJ/m².K para que o valor ficasse dentro do range do metamodelo e nos prédios VET-Bloco 13 e PRA-DGA, reduzir a absorvância média da cobertura de 0,85 (telha amianto envelhecida) para 0,80 para não ultrapassar os limites do Metamodelo.

Figura 38 – Laje dos blocos do ICB



Fonte: Autor.

Para ampliar os limites de utilização do Metamodelo, foram utilizados ajustes nos dados de entrada para o Metamodelo podendo chegar uma possibilidade de avaliação de 63 edifícios ou a 77% da amostra. Para tal, é necessário avaliar os desvios na avaliação que tais ajustes implicam.

Como sugestão inicial, indicou-se a exclusão da restrição da variação das áreas dos ambientes internos em até 10%, visto que isso limitaria a aplicação em apenas uma edificação do objeto de estudo, sendo essa edificação uma exceção por possuir apenas um pavimento e dois ambientes de permanência prolongada. Essa restrição tornaria o método simplificado impraticável, visto que prédios escolares possuem diversos tipos de ambientes de permanência prolongada como: salas de aulas para diferentes quantidades de alunos, salas de reuniões, salas de seminários, gabinetes de professores, salas administrativas e auditórios. O INI-C poderia também prover guias de adequação aceitáveis para que os parâmetros pudessem ser inseridos dentro do range do metamodelo, o que estenderia a sua aplicação promovendo a utilização de edificações naturalmente ventiladas.

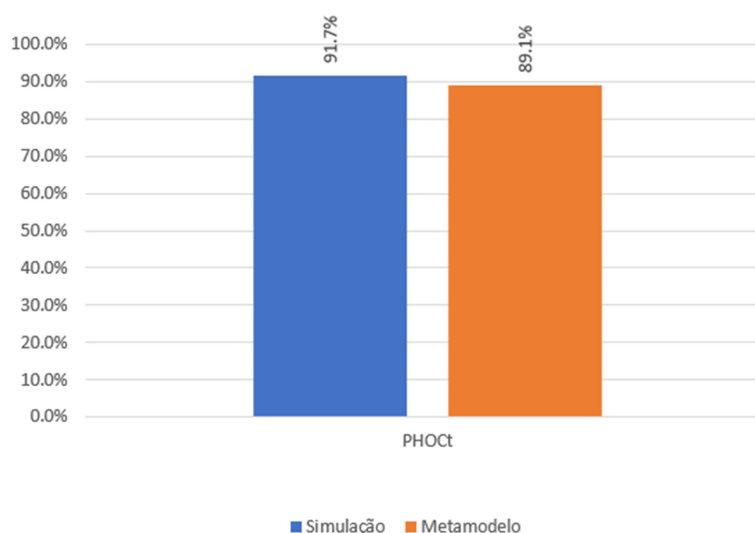
Para avaliar os desvios causados pelos ajustes, foram analisadas, pelo método simplificado e por simulação, três edificações do Grupo 2, e verificou-se que o Metamodelo proposto pelo INI-C apresentou resultados de PHOCT próximos ao obtido via simulação. Uma delas apresenta planta não retangular (Figura 14b, item 3.3.3), outra apresenta pilotis (Figura 14c, item 3.3.3) e a terceira comprimento maior do que quatro vezes a largura (Figura 14a, item 3.3.3).

No edifício Anexo Dança da EBA os parâmetros que necessitaram de adequação na edificação avaliada para uso do metamodelo foram:

- redução da densidade de potência instalada de $39,9\text{W}/\text{m}^2$ para $25,0\text{W}/\text{m}^2$ para que o valor ficasse dentro do *range* do metamodelo;
- definição de uma largura “virtual” pois a edificação não apresenta formato retangular como requerido pelo metamodelo;
- e, por fim, adequação na altura do pé-direito que foi alterada de 3,75 m para 3,19 m pois o metamodelo só aceita edificações de até 16 m.

O resultado do PHOCT, encontrado a partir do metamodelo e da simulação, obteve uma diferença de 2,6%, mesmo com as adequações que foram necessárias. A Figura 39 compara os resultados obtidos.

Figura 39 – Comparação dos resultados: Simulação x Metamodelo para o Anexo Dança da EBA



Fonte: Autor.

É importante salientar que estes resultados representam a média dos PHOCT da edificação. Com a simulação foi possível ter um diagnóstico mais detalhado, podendo-se perceber diferenças nos níveis de conforto entre os ambientes de uma mesma edificação.

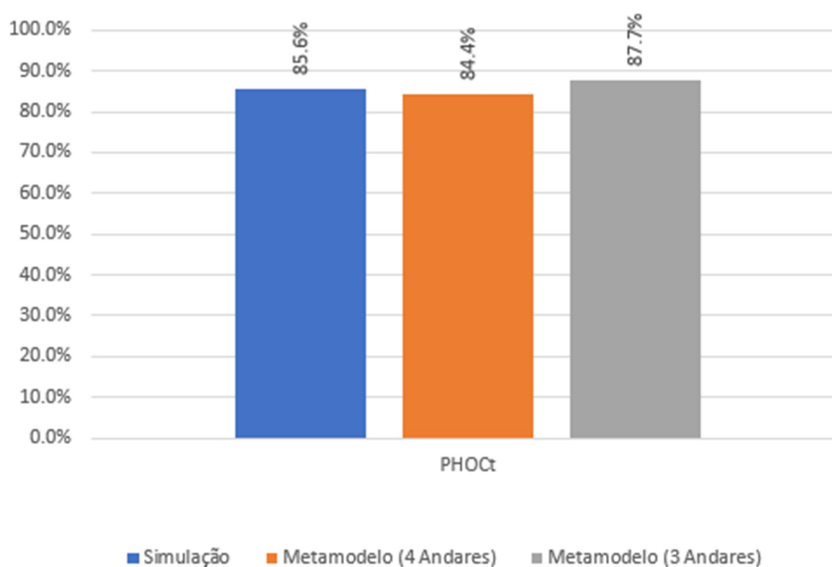
No Bloco H do ICB, os parâmetros que necessitaram de adequação foram:

- redução da capacitância térmica média da cobertura de $457,9\text{kJ}/\text{m}^2.\text{K}$ para $400,0\text{kJ}/\text{m}^2.\text{K}$ para que o valor ficasse dentro do range do metamodelo;

- número de andares - foram analisadas duas configurações no metamodelo, com três e quatro andares respectivamente, para analisar qual mais se aproximaria dos resultados de simulação devido ao primeiro andar ser sob os pilotis.

O resultado do PHOCT encontrado com a simulação foi de 85,6% e utilizando o metamodelo foram utilizadas duas configurações (três e quatro andares), sendo que o edifício de quatro andares apresentou resultado mais próximo ao da simulação - 84,4% -, enquanto o edifício de três andares apresentou PHOCT de 88,7%. A Figura 40 compara os resultados obtidos. Neste caso, pode-se considerar que edificações com pilotis (13% da amostra no presente trabalho) poderiam ser avaliadas no Metamodelo com o mesmo número de andares da edificação original.

Figura 40 – Comparação dos resultados: Simulação x Metamodelo para o Bloco H do ICB



Fonte: Autor.

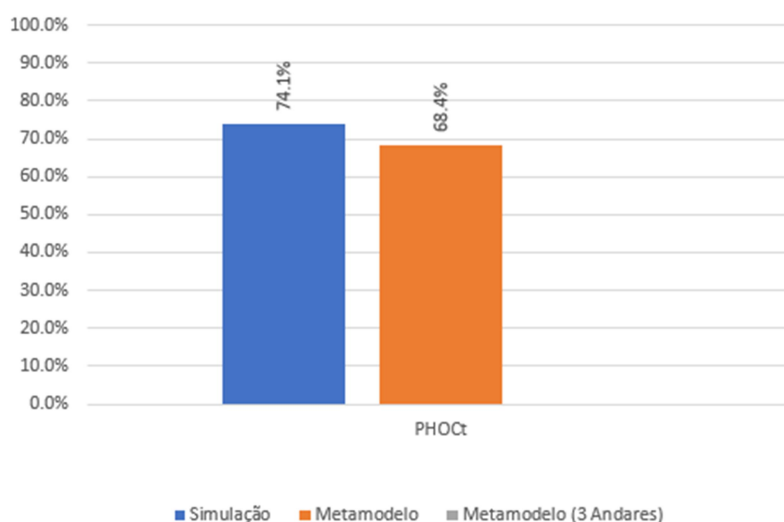
No Bloco 2 da FAE, os parâmetros que necessitaram de adequação foram:

- largura e comprimento alterados de 108,6 x 24,4 m para 102,8 x 25,7 m, de modo a manter o comprimento dentro do limite de quatro vezes a largura sem alterar a área total da edificação;
- a edificação possui dois átrios conforme pode ser observado na Figura 29, que foram desconsiderados no metamodelo;

- o pé-direito considerado foi uma média, pois a cobertura da edificação é de telhas de amianto com inclinação e, por este motivo, varia ao longo da edificação;
- a absorvância da cobertura foi reduzida de 0,85 (telha de fibrocimento envelhecida) para 0,8, devido ao limite imposto pelo metamodelo.

Neste caso a comparação entre os resultados obtidos pela adaptação feita no metamodelo e pelo método de simulação computacional resultaram em uma diferença de 5,7%, mesmo com as adequações necessárias. Esta foi a maior divergência encontrada dentro das três edificações avaliadas. A Figura 41 compara os resultados obtidos.

Figura 41 – Comparação dos resultados: Simulação x Metamodelo para o Bloco 2 da FAE



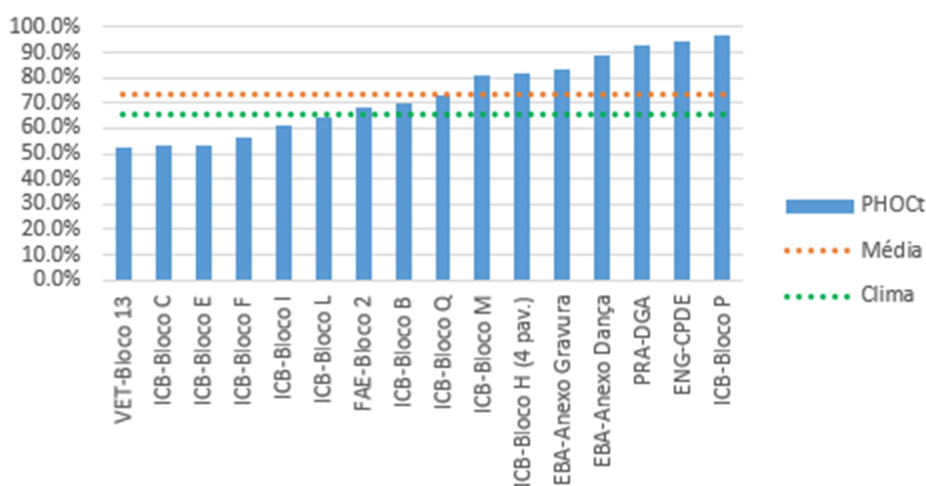
Fonte: Autor.

Assim, como no Bloco H do ICB, o ambiente com pior desempenho foi a Copa, devido à grande densidade de potência ($63,2 \text{ W/m}^2$), conforme pode ser observado também na Figura 37. O bloco 2 FAE foi a edificação que obteve pior desempenho térmico dentre as edificações simuladas, com PHOCT de 74,1% via simulação e de 68,4% via metamodelo (Figura 44), e a edificação que teve maior variação no resultado do PHOCT obtido por simulação e metamodelo, de 5,7%, mas ainda assim pode ser considerado como um resultado satisfatório já que foram realizadas adequações nos dados de entrada.

Ao todo, 16 edificações tiveram o PHOCT avaliado e, apresentando grande diferença nos níveis de conforto térmico, variando entre 52,2%, e 96,8%, sendo que, segundo

o *software* Climate Consultant, o clima de Belo Horizonte proporciona 65,6% das horas dentro dos limites de conforto térmico para o período avaliado. Dessa forma, foi possível ter um panorama dos níveis de conforto no *Campus* Pampulha. A Figura 42 apresenta os níveis de conforto térmico das edificações avaliadas, a média e o percentual de horas dentro da faixa de conforto para o clima de Belo Horizonte. Podemos notar que seis edificações têm nível de conforto abaixo do esperado para o clima conforme análise feita pelo programa Climate Consultant, demonstrando haver potencial de melhoria das edificações que possuem baixo índice de conforto e indicando que estas edificações poderiam ser mais bem projetadas utilizando estratégias de ventilação passiva para se adaptar bem ao clima em que estão inseridas. Entretanto há, no mesmo *Campus*, três edificações com níveis de conforto acima de 90%, sendo duas delas de uso administrativo, mostrando a heterogeneidade dos tipos de construção. Dessas uma é escolar de apenas um pavimento dividido em duas salas, o que é uma exceção. Já nas edificações administrativas são esperados melhores níveis de conforto por terem a densidade de ocupação menores do que salas de aula.

Figura 42 – Níveis de Conforto Térmico das edificações avaliadas do Campus Pampulha



Fonte: Autor.

Com exceção do ICB-Bloco P, as edificações com fechamento em alvenaria apresentaram valores de PHOQt maiores em relação às edificações com fechamento em esquadrias metálicas e placas cimentícias, demonstrando a importância da vedação vertical no conforto térmico dos ocupantes dos prédios.

Foi observado que a indicação de considerar 0,67 pessoas/m² como densidade de ocupação para escolas proposta no INI-C não corresponde à realidade de uma edificação escolar, visto que nem todos os ambientes são dedicados a salas de aula, sendo específica para salas de aula onde essa ocupação realmente é praticada. Nas edificações simuladas, a densidade de ocupação utilizada foi a real do ambiente, considerando o *layout* e tipo de uso para cada ambiente, sendo que as densidades médias de ocupação foram 0,26, 0,61 e 0,35 pessoas/m² para o Anexo Dança – Eba, Bloco H – ICB e Bloco 2 – FAE respectivamente. Na interface web disponibilizada pelo INI-C este parâmetro é omitido ficando predeterminado pela tipologia da edificação, “escola” ou “escritório”, entretanto, uma edificação escolar pode ter vários ambientes de apoio como salas de professores, diretoria e secretarias.

Os limites de pé direito do Metamodelo devem ser reavaliados, pois em países tropicais como o Brasil, o incremento da altura do pé-direito é uma estratégia recomendada para melhorar o conforto dos usuários. Especialmente em ambientes com alta densidade de ocupação, como salas de aula. O código de edificação de Belo Horizonte (BELO HORIZONTE, 2009) considera 4,00 m o pé direito mínimo para salas de aula com 48 m² ou mais, o que é próximo ao limite máximo de pé-direito do Metamodelo (4,25 m). Portanto, o limite de 16 m para a altura total da edificação permitiria a avaliação apenas de prédios escolares de até quatro andares. Na amostra realizada, em apenas uma edificação foi necessário adequar a altura e para duas edificações o método simplificado foi considerado “não aplicável” devido ao número de andares ser superior ao limite. Entretanto, para edifícios de escritório e escolares verticalizados (mais frequente em universidades privadas) que funcionam com ventilação natural, esse limitador pode ser um problema visto que esse tipo de edificação costuma apresentar número elevado de andares.

O tempo para analisar o PHOCT de uma edificação utilizando o Metamodelo foi em média de 2 a 3 horas pelo método simplificado, esse tempo reduzido foi devido à grande parte das edificações do grupo 1 possuírem o mesmo tipo de paredes e coberturas. Já o processo de simulação demandou de 20 a 40 horas para cada edificação, considerando inserção de dados e construção do modelo de simulação.

Ressalta-se que este estudo foi realizado utilizando o arquivo em *python* disponibilizado por Rackes, Melo e Lamberts (2016). Não foi possível utilizar a

interface web disponibilizada no INI-C³, pois ela omite qual o arquivo climático está sendo utilizado na avaliação, além de fixar as densidades de ocupação e de potência instalada, sendo essas informações relevantes para a comparação entre os resultados da simulação e metamodelo e análise dos níveis de conforto.

³ Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/naturalcomfor>. Acesso em: 11 nov. 2021

7. CONCLUSÕES

Na elaboração dessa pesquisa foram levantadas as características de 47 edificações do campus Pampulha da UFMG, que foram divididas em 111 blocos. Destes, 82 foram considerados de interesse para a pesquisa e tiveram suas características volumétricas levantadas.

As edificações de interesse para pesquisa foram divididas em 3 grupos: 1 aplicáveis, 2 aplicáveis com ajustes e 3 não aplicáveis. A distribuição nestes grupos foi: 16%, 61% e 23% respectivamente.

No levantamento, apenas 11 edificações puderam ter o PHOCT avaliado pelo Metamodelo, com esse número sendo reduzido a 1 quando considerada a restrição do INI-C quanto a necessidade de os ambientes internos ter variação na área de até 10%.

Todas as edificações do Grupo 1 tiveram o PHOCT avaliado pelo Metamodelo, e os valores de PHOCT variaram de 52,2% a 96,8%. Demonstrando grande variedade de métodos construtivos e ocupação e potencial de melhoria principalmente nas edificações com os menores índices.

Três edificações do Grupo 2, Anexo Dança da EBA, Bloco H do ICB e Bloco 2 da FAE, tiveram o PHOCT avaliado pelo Metamodelo através de ajustes nas características que extrapolavam os limites do Metamodelo, e por simulação considerando as características reais. Na comparação dos resultados pelos dois métodos a diferença no PHOCT foi de 2,6%, 1,2% e 5,7% respectivamente.

O Metamodelo se mostrou com aplicação muito restrita quando levantada a sua aplicabilidade em edificações escolares reais. A simulação quando comparada ao Metamodelo necessita de mais de 10 vezes de tempo para sua execução.

Para ampliação da utilização do Metamodelo é sugerido a exclusão da limitação das áreas dos ambientes internos terem variação de até 10% pois esta restrição torna o método simplificado do INI-C para edificações naturalmente ventiladas e híbridas impraticável e a redação de guias de adequação para edificações que não tenham todas as características dentro dos limites da ferramenta possam ter seu PHOCT avaliado, assim como foi feito nessa pesquisa nas três edificações do Grupo 2. Podendo assim a aplicabilidade do Metamodelo passar de 16% para 77% das edificações do *campus* Pampulha da UFMG

7.1. Limitações na Realização do Estudo

Algumas limitações foram encontradas durante o desenvolvimento deste trabalho. As limitações estão relacionadas ao número de edifícios testados, arquivo climático, e localização dos edifícios.

Portanto o trabalho foi limitado em relação:

- Ao tamanho da amostra. Embora tenham sido avaliadas as plantas arquitetônicas de 111 blocos/edificações do *campus* Pampulha da UFMG, uma amostra maior pode apresentar resultados diferentes.
- Ao arquivo climático. A pesquisa foi realizada considerando o arquivo climático INMET 2012, referente à cidade de Belo Horizonte. A seleção do arquivo climático foi justificada por ser o mesmo utilizado no Metamodelo.
- À localização das edificações. Toda a pesquisa foi realizada considerando apenas as edificações do *campus* Pampulha, localizado na cidade de Belo Horizonte. A escolha das edificações desse *campus* se justifica pela disponibilidade das plantas arquitetônicas, e tamanho considerável da amostra (111 edificações/blocos).

7.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

A partir dos resultados obtidos e das limitações encontradas na realização desta pesquisa, sugere-se algumas linhas de pesquisa a serem investigadas em trabalhos futuros.

- Realizar pesquisa semelhante em diferentes *campi* universitários, de modo a verificar níveis de aplicabilidade do Metamodelo em diferentes zonas bioclimáticas.
- Aumentar o número de edifícios simulados para validar os resultados encontrados nessa pesquisa.
- Realizar simulações parametrizadas para quantificar os limites aceitáveis de adequação nos parâmetros das edificações para aplicação do método simplificado do INI-C para edificações do Grupo 2.

REFERÊNCIAS

ASHRAE. Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs, **ASHRAE 55-17**. Atlanta, GA, 2017.

ALMEIDA, R. M. S.; FREITAS, V. P. Indoor environmental quality of classrooms in Southern European climate. **Energy and Buildings**, v. 81, p 127-140, 2014.

ALVES, T.; MACHADO, L.; SOUZA, R. V. G.; WILDE, P. *A methodology for estimating office building energy use baselines by means of land use legislation and reference buildings*. **Energy and Buildings**, v. 143, p. 100-113, 2017.

BÁEZ, M. G.; PADURA, A. B; HUELVA, M. M.; CHACARTEGUI, R., Natural Ventilation Systems in 21st-century for near Zero Energy School Buildings, **Energy**, v. 137, p. 1186-1200, 2017.

_____, Natural ventilation systems to enhance sustainability in buildings: a review towards zero energy buildings in schools, **E3S Web of Conferences**, v. 22, 2017.

BELO HORIZONTE (MG). **Lei Municipal nº 9.725**, de 15 de julho de 2009, Institui o Código de Edificações do Município de Belo Horizonte e dá outras providências. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2009.

BAVARESCO, M. V., GHISI, E. **Métodos de avaliação de eficiência energética por consumo global e energia primária**. Florianópolis: CB3E, 2016. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/publicacoes>. Acesso em: 15 maio 2018.

BRASIL. Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001a. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 138, n. 200, p. 1, 18 out. 2001. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pdf/lei10295.pdf>. Acesso em: 14 maio 2020.

_____. Decreto nº 4.059 de 19 de dezembro de 2001b. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 138, n. 242, p. 5, 20 dez. 2001a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm. Acesso em: 18 out. 2019.

_____. Decreto nº 9.864 de 27 de junho de 2019. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dispõe sobre o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética.

Diário Oficial da União: seção 1, ano 157, n. 123, p. 2, Brasília, DF, 28 jun. 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9864.htm#art19. Acesso em: 18 out. 2019.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria n.º 372, de 17 de setembro de 2010. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 182, p. 68, 22 set. 2010. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>. Acesso em: 18 out. 2019.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Portaria n.º 17, de 16 de janeiro de 2012. **Diário Oficial da União**: seção 1, ano 149, n. 12, p. 53, Brasília, DF, 17 jan. 2012. Disponível em:

<http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/RTAC001787.pdf>. Acesso em: 18 out. 2019.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Portaria n.º 299, de 19 de junho de 2013. **Diário Oficial da União**: seção 1, ano 150, n. 117, p. 79, Brasília, DF, 20 jun. 2013. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001982.pdf>. Acesso em: 18 out. 2019.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Tabelas de eficiência energética - Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/edificacoes/01-edificacoes_comerciais_de_servicos_e_publicas.xlsx/view. Acesso em: 5 de mar. de 2022.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021a. Aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) [...]. **Diário Oficial da União**: seção 1, ano 159, n. 45, p. 44, 09 mar. 2021. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=09/03/2021&jornal=515&pagina=44&totalArquivos=130>. Acesso em: 11 nov. 2021.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Portaria nº 50 de 01 de janeiro de 2013. Tabela de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac001961.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2021.

_____. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Portaria n.º 248, de 10 de julho de 2018. Consulta Pública - Aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. **Diário Oficial da União**: seção 1, ano 155, n. 133, p. 335, Brasília, DF, 12 jul. 2018b. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002520.pdf>. Acesso em: 12 maio 2020.

_____. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2021 – Ano base 2020: Relatório Final**. Rio de Janeiro, 2021b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 10 abr. 2022.

_____. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. Instrução Normativa nº 2, de 04 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional [...]. **Diário Oficial da União**: seção 1, ano 151, n. 106, p. 102-103, Brasília, DF, 05 jun. 2014. Disponível em: <http://www.comprasgovernamentais.gov.br>. Acesso em: 12 maio 2018.

CB3E. **Centro brasileiro de eficiência energética em edificações**, 2012. Disponível em: <https://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento>. Acesso em: 7 fev. 2022.

“Campus Pampulha, MG.” (2021). **Google Maps. Google**. [não paginado] Disponível em:

<https://www.google.com.br/maps/place/Universidade+Federal+de+Minas+Gerais/@-19.8702254,-43.9639218,435m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xa690ee806be67d:0xbb1391cea62811dd!8m2!3d-19.870682!4d-43.9677359>. Acesso em: 11 nov. 2021.

CÂNDIDO, C.; DEAR, R. J.; LAMBERTS, R.; Bittencourt, L. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and Environment**, v. 45, p. 222-229, 2010.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, 2010.

_____. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 27-40, 2010b.

COELHO, T. C. C.; GOMES, C. E. M.; DORNELLES, K. A. Desempenho térmico e absorvência solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 147-161, 2017.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. S. **RP-884 - Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. ASHRAE Transactions 1998, v.104, part 1, 1998.

DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO E PROJETOS. **Coleção de fotografias e projetos arquitetônicos a respeito da Universidade Federal de Minas Gerais**. Belo Horizonte: UFMG, 2020.

ESCOLA de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. *In*: WIKIPEDIA: a enciclopédia livre. [São Francisco, CA: Fundação Wikipedia], 2021. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Escola_de_Engenharia_da_Universidade_Federal_de_Minas_Gerais. Acesso em: 18 jan. 2021.

HARBICH, L. V. de A.; CHAVES, V. L. A.; BRANDSTETTER, M, C, G. O. Evaluation of strategies that improve the thermal comfort and energy saving of a classroom of an institutional building in a tropical climate, **Building and Environment**, vol. 135, p. 257-268, 2018.

HARRELL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation using ProModel**. 3.ed. New York: McGraw-Hill Education, 2012.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. (Ed.). **Building performance simulation for design and operation**. Londres: Routledge, 2011.

HONG, Tianzhen; LANGEVIN, Jared; SUN, Kaiyu. Building simulation: Ten challenges. **Building Simulation**. v. 5, p. 871-898, 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **2018 Global Status Report: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector**, 2017. Disponível em:

https://webstore.iea.org/download/direct/2408?fileName=2018_Global_Status_Report.pdf. Acesso em: 11 abr. 2020.

IPBES. INTERGOVERNMENTAL SCIENCE-POLICY PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES. **Nature's Dangerous Decline 'Unprecedented' Species Extinction Rates 'Accelerating'**, 2019. Disponível em: <https://www.ipbes.net/news/Media-Release-Global-Assessment>. Acesso em: 13 maio 2019.

KWOK, A. G.; RAJKOVICH, N. B. *Addressing climate change in comfort standards. Building and Environment*, v. 45, p. 18-22, 2010.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (labEEE). **Novo método de avaliação energética de edificações com base em energia primária**, 2020. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/novo-metodo-avaliacao-cb3e>. Acesso em: 15 março 2021

LEAL, S.; JUDEX, F.; HAUER, S.; STIFT, F.; DUBISCH, F.; ZUCKER, G. Automating building energy modeling for simulation purposes. In: FOURTH GERMAN-AUSTRIAN IBPSA CONFERENCE (BauSIM), Berlim. **Proceedings...** Berlim, p. 212-216. 2012.

LAMBERTS, R.; PEREIRA, F. O. R.; DUTRA, L. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3 ed, Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 2014.

MACIEL, A. C.; MALARD M. L. **Territórios da Universidade: Permanência e Transformações**. 1ª Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2012.

MISHRA, A. K.; RAMGOPAL, M. A thermal comfort field study of naturally ventilated classrooms in Kharagpur, India, **Building and Environment**, v. 92, p. 396-406, 2015.

MORAWSKA, L.; MILTON, D. K., It is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19. **Clinical Infectious Diseases**, ciaa939, 2020.

NEMATCHOUA, M. K.; RICCIARDI, P.; BURATTI, C., Adaptive approach of thermal comfort and correlation between experimental data and mathematical model in some schools and traditional buildings of Madagascar under natural ventilation. **Sustainable Cities and Society**, v. 41 p. 666-678, 2018.

PEREIRA, H. A. C.; MELO, A. P.; SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; MATOS, M.; LAMBERTS, R. **Manual de Simulação Computacional de Edifícios Naturalmente Ventilados No Programa Energyplus – Versão 8.0**. LabEEE, Florianópolis, 2013.

PROCELINFO. **Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética**. 2021. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm> Acesso em: 25 jul. 2021.

PUTEH, M.; IBRAHIM, H. M.; ADNAN, M.; CHEAHMAD, C. N.; NOH, N. M. Thermal comfort in classroom: constraints and issues. **Procedia Social Behavior Science**, n. 46, p. 1834-1838, 2012.

RACKES, A.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Naturally comfortable and sustainable: Informed design guidance and performance labeling for passive commercial buildings in hot climates. **Applied Energy**, n. 174, p. 256-274, 2016.

RODRIGUES, G. M. 2020. 130 f. **Análise de metodologia para avaliação da eficiência energética de edificações públicas**. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG). **Infraestrutura Física e Instalações Prediais**. 2020a. Disponível em: <https://www.ufmg.br/pdi/2018-2023/wp-content/uploads/2018/08/INFRAESTRUTURA-F%C3%8DSICA-17-08-2018.docx> Acesso em 04/10/2020. [não paginado]

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG). **UFMG Sustentável**. 2022. Disponível em: <https://www.ufmg.br/sustentabilidade/>. Acesso em 07/02/2022.

_____. **Protocolo de Biossegurança e Adequação do Espaço Físico na UFMG**. 2020b. Disponível em: https://ufmg.br/storage/b/d/4/b/bd4b2cf83ed9619099eff5a389184f7a_16020949808844_1676750974.pdf, Acesso em 15 abr. 2021.

_____. **Ofício Circular PRA-231/2019**, de 06 de junho de 2019. Belo Horizonte, MG, 2019.

_____. **Importante polo de pesquisa, ensino e extensão da UFMG, Instituto de Ciências Biológicas (ICB) comemora hoje 50 anos de sua fundação [...]**. Belo Horizonte, 28 nov. 2018. Twitter: @ufmg. Disponível em: <https://twitter.com/ufmg/status/1067764526899175424>. Acesso em: 14 dez. 2020.

_____. **Escola de Engenharia - Centenário**. 2011. Disponível em: <https://www.eng.ufmg.br/centenario/>. Acesso em 04 dez. 2021.

_____. **RESOLUÇÃO 04/99, DE 4 DE MARÇO DE 1999**, Estatuto da Universidade Federal de Minas Gerais, 1999.

VELOSO, A. C. O., SOUZA, R. V. G. Benchmarking the energy efficiency of office buildings in Belo Horizonte, Brazil. **7th International Conference Physics Building, IBPC2018**, Syracuse, NY, USA, 2018.

VELOSO, A. C. O.; SOUZA, R. V. G.; KOURY, R. N. N. *Research of design features that influence energy consumption in office buildings in Belo Horizonte, Brazil*. **Energy Procedia**, v. 111, p. 101-110, 2017.

WONG, I.L.; KRÜGER, E. *Comparing energy efficiency labelling systems in the EU and Brazil: implications, challenges, barriers and opportunities*, **Energy Policy**, v. 109, p. 310-323, 2017.

APÊNDICE A - LEVANTAMENTO DAS EDIFICAÇÕES DO CAMPUS PAMPULHA DA UFMG

| Unidade | Prédio | Aplicabilidade | Observações ⁴ |
|--|---|----------------|--------------------------|
| Interdisciplinar | Centro de microscopia Eletrônica - Blocos A e B | Sem Interesse | Laboratório |
| ICEX - Instituto de Ciências Exatas | Lab. Estudo de Combustíveis | Sem Interesse | Laboratório |
| | Departamento de Química | Com Ajustes | 1 |
| | DCC - Departamento de Ciências da Computação | Sem Interesse | Edificação Climatizada |
| | Departamento de Física | Não Aplicável | 1, 4, 9, 11 |
| ICB - Instituto de Ciências Biológicas | Biotério central | Sem Interesse | Laboratório |
| | Biotério central 2 | Sem Interesse | Laboratório |
| | Bloco A | Com Ajustes | 3 |
| | Bloco B | Aplicável | - |
| | Bloco C | Aplicável | - |
| | Bloco D | Com Ajustes | 3 |
| | Bloco E | Aplicável | - |
| | Bloco F | Aplicável | - |
| | Bloco G | Com Ajustes | 3 |
| | Bloco H | Com Ajustes | 3 |
| | Bloco I | Aplicável | - |
| | Bloco J | Com Ajustes | 3 |
| | Bloco K | Com Ajustes | 3 |
| | Bloco L | Aplicável | - |
| | Bloco M | Aplicável | - |
| | Bloco N | Com Ajustes | 4 |
| | Bloco O | Com Ajustes | 4 |
| Bloco P | Aplicável | - | |
| Bloco Q | Aplicável | - | |
| FUMP - Fundação Universitária Mendes Pimentel | Restaurante setorial I | Sem Interesse | Restaurante |
| | Restaurante setorial II | Sem Interesse | Restaurante |
| ENG - Escola de Engenharia | LEAT - Laboratório de Extra Alta Tensão | Sem Interesse | Laboratório |
| | CPDEE | Aplicável | - |
| | Bloco 1 | Com Ajustes | 3, 4, 5 |
| | Bloco 2 | Com Ajustes | 6 |
| | Bloco Biblioteca | Não Aplicável | 1, 6 |
| | CPRH/LENHS - Centro de Pesquisa e Recursos Hídricos | Sem Interesse | Laboratório |
| | CPDA /CDCTA - Centro Des. Ciência Téc. e Desc. Atmosféricas | Sem Interesse | Laboratório |
| | PCA Bloco 1 | Com Ajustes | 5 |
| | Bloco de Ligação | Sem Interesse | Auditórios |
| | Bloco 3 - 1 | Com Ajustes | 4 |
| Bloco 3 - 2 | Não Aplicável | 3, 4, 5 | |

⁴ Números das observações conforme item 5.3

| Unidade | Prédio | Aplicabilidade | Observações⁴ |
|--|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| UA1 – Unidade Administrativa I | Reitoria | Não Aplicável | 4, 7 |
| UA2 – Unidade Administrativa II | Unidade Administrativa II | Não Aplicável | 5, 7 |
| UA3 – Unidade Administrativa III | Bloco 1 | Com Ajustes | 4, 5 |
| | Bloco 2 | Com Ajustes | 4, 5 |
| VET - Escola de Veterinária | Bloco 11 | Com Ajustes | 4 |
| | Bloco 12 | Com Ajustes | 1, 4 |
| | Bloco 13 | Aplicável | - |
| | Bloco 14 | Com Ajustes | 4 |
| | Bloco 15 | Com Ajustes | 1, 8 |
| | Bloco 16 | Com Ajustes | 1, 4 |
| | Bloco 17 | Não Aplicável | 1 |
| | Bloco 18 | Com Ajustes | 1, 4 |
| HVE – Hospital Veterinário | Bloco principal | Com Ajustes | 4, 5 |
| | Galpão 1 (bloco 5) | Sem Interesse | Hospital ou viveiro |
| | Galpão 2 (bloco 6) | Sem Interesse | Hospital ou viveiro |
| | Galpão 3 (bloco 7) | Sem Interesse | Hospital ou viveiro |
| | Galpão 4 (bloco 8) | Sem Interesse | Hospital ou viveiro |
| | Bloco 9 | Sem Interesse | Hospital ou viveiro |
| | Necropsia (bloco 10) | Sem Interesse | Laboratório |
| CAD 1 - Centro de Atividades Didáticas Ciências Naturais | Setor A | Sem Interesse | Auditório |
| | Setor B e C | Com Ajustes | 3, 5 |
| | Setor D | Sem Interesse | Auditório |
| FAFAR - Faculdade de Farmácia | Bloco 1 | Sem Interesse | Auditórios, funcionamento climatizado |
| | Bloco 2 | Com Ajustes | 4, 5 |
| | Bloco 3 | Com Ajustes | 4, 5 |
| | Bloco 4 | Com Ajustes | 1, 5 |
| | Biotério | Sem Interesse | Laboratório |
| Setor de Serviços | Praça de Serviços | Sem Interesse | Bancos e restaurantes |
| | Sede DPP | Com Ajustes | 1, 5 |
| | DGA | Aplicável | - |
| | DSG | Com Ajustes | 6 |
| | DEMAI | Sem Interesse | Oficina |
| | ASSUFEMG | Não Aplicável | 1 |
| | Cantina Pelegos | Sem Interesse | Restaurante |
| Imprensa Universitária | Prédio Principal | Com Ajustes | 9 |
| | Bloco Central | Não Aplicável | 1, 6, 10 |
| EMU - Escola de Música | Prédio Principal | Não Aplicável | 1 |
| EBA - Escola de Belas Artes | Bloco 1 | Com Ajustes | 1, 4, 8 |
| | Bloco 2 | Com Ajustes | 1, 4 |
| | Bloco 3 | Com Ajustes | 1, 4 |
| | Bloco 4 | Com Ajustes | 1, 4 |
| | Bloco 5 | Com Ajustes | 1, 4 |
| | Anexo Dança | Com Ajustes | 1, 11, 12 |
| | Anexo Gravura | Aplicável | - |
| | Teatro Universitário / Artes Cênicas | Não Aplicável | 4, 9 |

| Unidade | Prédio | Aplicabilidade | Observações⁴ |
|--|---|-----------------------|--------------------------------|
| FACE - Faculdade de Ciências Econômicas | Bloco Admin | Com Ajustes | 1 |
| | Bloco seminário | Sem Interesse | Auditórios |
| | Bloco Biblioteca | Com Ajustes | 1, 9 |
| | Bloco Central | Não Aplicável | 1, 6 |
| IGC - Instituto de Geociências | Prédio Principal | Com Ajustes | 4, 6 |
| | Anexo | Com Ajustes | 1, 6 |
| Biblioteca Central | Prédio Principal | Não Aplicável | 1 |
| COLTEC - Colégio Técnico - 2º Grau | Bloco 1 | Com Ajustes | 1, 11 |
| | Bloco 2 | Com Ajustes | 4, 5 |
| EEFFTO - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional | Prédio principal | Não Aplicável | 1 |
| FAFICH - Fac. Filosofia e Ciências Humanas | Prédio principal e acréscimo biblioteca | Não Aplicável | 1 |
| FALE - Faculdade de Letras | Prédio principal | Não Aplicável | 1 |
| ODONTO - Faculdade de Odontologia | Prédio principal | Não Aplicável | 1 |
| CAD 2 - Centro de Atividades Didáticas Ciências Humanas | Bloco 1 | Não Aplicável | 4 |
| | Bloco 2 | Não Aplicável | 4 |
| | Bloco 3 | Não Aplicável | 4 |
| | Bloco 4 | Sem Interesse | Auditórios |
| FAE - Faculdade de Educação | Bloco A | Sem Interesse | Copas e Cantinas |
| | Bloco B | Com Ajustes | 5, 6, 9 |
| | Bloco C | Com Ajustes | 9, 13 |
| | Bloco 1 | Com Ajustes | 9 |
| | Bloco 2 | Com Ajustes | 5, 6, 9 |
| Centro Pedagógico - 1º Grau | Bloco 1 | Com Ajustes | 3 |
| | Bloco 2 | Com Ajustes | 2 |
| | Bloco 3 | Sem Interesse | Pátio Coberto |
| | Bloco 4 | Com Ajustes | 2 |
| | Bloco 5 | Com Ajustes | 4, 14 |
| CAD 3 - Centro de Atividades Didáticas 3 | Prédio principal | Com Ajustes | 1, 2, 3, 13 |

APÊNDICE B – PARÂMETROS DE ENTRADA DO METAMODELO PARA AS EDIFICAÇÕES AVALIADAS

| Parâmetro ⁵ | Unid. | Mín. | Máx. | Grupo 1 | | | | | | | | | | | Grupo 2 | | | | | |
|------------------------|----------------------|--------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|---------|-------------------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------|
| | | | | ICB-Bloco B | ICB-Bloco C | ICB-Bloco E | ICB-Bloco F | ICB-Bloco I | ICB-Bloco L | ICB-Bloco M | ICB-Bloco P | ICB-Bloco Q | ENG-CPDE | VET-Boco 13 | PRA-DGA | EBA-Anexo Gravura | EBA-Anexo Dança | ICB-Bloco H (3 Pav.) | ICB-Bloco H (4 Pav.) | FAE-Bloco 2 |
| 10 | m | 13 | 200 | 32,4 | 32,4 | 32,4 | 32,4 | 32,4 | 32,4 | 32,4 | 32,4 | 32,4 | 36,3 | 32,4 | 26,8 | 35,3 | 45,6 | 37,4 | 37,4 | 102,8 |
| 11 | m | 8 | 50 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 14,5 | 19,8 | 12,3 | 16,3 | 12,7 | 15,0 | 15,0 | 25,7 |
| 12 | m | 2,75 | 4,25 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,1 | 4,0 | 3,6 | 3,1 | 3,2 | 4,0 | 4,0 | 3,1 |
| 13 | - | 1 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 5 | 3 | 4 | 1 |
| 14 | m ² | 9 | 400 | 27,4 | 25,3 | 22,7 | 28,7 | 16,3 | 24,2 | 48,3 | 244 | 18,4 | 22,9 | 25,2 | 31,4 | 47,9 | 34,4 | 75,8 | 75,8 | 62,5 |
| 15 | - | 0 | 0,28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,05 | 0 | 0 | 0,3 | 0,05 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | - | 0,05 | 0,7 | 0,36 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,31 | 0,32 | 0,21 | 0,30 | 0,28 | 0,21 | 0,33 | 0,17 | 0,32 | 0,26 | 0,25 | 0,25 | 0,28 |
| 17 | ° | 0 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 20,9 | 24 | 37,4 | 45 | 45 | 38,6 |
| 18 | - | 0,2 | 0,8 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,37 | 0,37 | 0,2 | 0,33 | 0,21 | 0,35 | 0,35 | 0,7 |
| 19 | W/m ² .K | 0,1 | 5 | 1,85 | 1,85 | 1,85 | 1,85 | 1,85 | 1,85 | 1,85 | 1,85 | 1,85 | 1,85 | 4,14 | 2,46 | 1,85 | 1,85 | 1,85 | 1,85 | 3,6 |
| 20 | kJ/m ² .K | 40 | 500 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 161 | 123 | 150 | 161 | 105 | 105 | 105 | 48,8 |
| 21 | - | 0,2 | 0,8 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,2 | 0,26 | 0,2 | 0,2 | 0,8 |
| 22 | W/m ² .K | 0,1 | 5 | 1,87 | 1,87 | 1,87 | 1,87 | 1,87 | 1,87 | 1,87 | 1,87 | 1,87 | 1,54 | 2,22 | 1,95 | 0,68 | 0,56 | 1,87 | 1,87 | 1,76 |
| 23 | kJ/m ² .K | 10 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 134 | 278 | 32 | 229 | 247 | 400 | 400 | 16 |
| 24 | - | 0,2 | 0,8 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 |
| 25 | W/m ² .K | 1 | 6 | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 |
| 26 | W/m ² | 1 | 25 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 25,0 | 23,8 | 25,0 | 23,8 | 25,0 | 24,9 | 24,9 | 20,5 |
| 27 | W/m ² | 1 | 15 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 15 | 14,1 | 15 | 14,1 | 7,4 | 1 | 1 | 8,2 |
| 28 | ocup./m ² | 0,01 | 1 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,10 | 0,67 | 0,10 | 0,67 | 0,26 | 0,61 | 0,61 | 0,35 |
| 29 | h | 6 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 30 | h | 14 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 18 | 22 | 18 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 31 | - | 0,10 | 0,40 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 |
| 32 | - | 0,3 | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| 33 | - | 0,2 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,44 | 0,5 | 0,5 | 0,4 |
| 34 | - | 0 | 0,17 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,06 | 0,08 | 0,01 | 0 | 0 | 0,06 |
| 35 | - | 0,1 | 50 | 1,36 | 1,36 | 1,36 | 1,36 | 1,36 | 1,36 | 1,36 | 1,36 | 1,36 | 1,48 | 1,35 | 4,73 | 2,57 | 4,51 | 1,36 | 1,36 | 3,1 |
| 36 | - | 0,40 | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| 37 | - | 0,0001 | 0,4 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,01 | 0,21 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 38 | m/s | 0 | 0,9 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| PHOCT | % | 0 | 100 | 69,6 | 52,9 | 53,4 | 56,1 | 61,1 | 64,5 | 80,9 | 96,8 | 73,0 | 94,5 | 52,2 | 93,1 | 83,4 | 88,7 | 85,1 | 82,1 | 68,4 |

⁵ Numeração dos parâmetros conforme Tabela 1 do item 2.4.1.3.

APÊNDICE C – PHOCT DOS EDIFÍCIOS ANALISADOS POR SIMULAÇÃO

| EDIFICAÇÃO | ZONA TÉRMICA | OCUP./m ² | POT. INSTAL. W/m ² | ÁREA m ² | PHOCT |
|--------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------|-------|
| EBA-Anexo Dança | 1F_SALA_DA_CONGREGACAO | 0.99 | 10.2 | 31.5 | 95.2% |
| | 1F_SETOR_ARQUIVO_01 | 0.19 | 36.9 | 10.3 | 98.4% |
| | 1F_CENEX | 0.24 | 47.5 | 20.9 | 98.0% |
| | 1F_SETOR_DE_TI | 0.26 | 46.2 | 11.5 | 94.8% |
| | 1F_COPA | 0.51 | 49.2 | 11.8 | 96.9% |
| | 1F_BIBLIOTECA | 0.09 | 7.3 | 267.4 | 90.3% |
| | 2F_GABINETE_01 | 0.18 | 34.9 | 10.9 | 97.0% |
| | 2F_GABINETE_02 | 0.19 | 36.9 | 10.3 | 97.6% |
| | 2F_GABINETE_03 | 0.19 | 36.9 | 10.3 | 97.5% |
| | 2F_GABINETE_04 | 0.19 | 36.9 | 10.3 | 97.4% |
| | 2F_GABINETE_05 | 0.19 | 36.9 | 10.3 | 97.3% |
| | 2F_GABINETE_06 | 0.19 | 35.9 | 10.6 | 97.3% |
| | 2F_SECRETARIA_COLEGIADO | 0.40 | 70.5 | 69.8 | 91.7% |
| | 2F_COPA | 0.51 | 49.4 | 11.7 | 98.2% |
| | 2F_SALA_DANCA_01 | 0.24 | 50.0 | 105.0 | 91.1% |
| | 2F_SALA_DANCA_02 | 0.23 | 50.0 | 108.9 | 89.6% |
| | 2F_SECAO_ENSINO | 0.24 | 45.4 | 25.1 | 94.4% |
| | 3F_SECRETARIA_DEP | 0.40 | 70.5 | 69.8 | 89.6% |
| | 3F_SECRETARIA_EAD | 0.19 | 39.7 | 21.2 | 96.0% |
| | 3F_SECRETARIA_COL_POS | 0.24 | 42.0 | 41.4 | 95.5% |
| | 3F_GAB_PROF_DANCA | 0.48 | 81.3 | 25.1 | 84.8% |
| | 3F_SALA_DANCA | 0.19 | 50.0 | 132.2 | 93.1% |
| | 3F_SALA_PROF_DANCA | 0.42 | 10.2 | 23.5 | 95.1% |
| | 3F_COPA | 0.51 | 49.4 | 11.7 | 97.2% |
| | 4F_DIRETOR | 0.38 | 22.9 | 23.6 | 95.2% |
| | 4F_VICE_DIRETOR | 0.39 | 23.6 | 22.9 | 96.3% |
| | 4F_PATRIMONIO | 0.17 | 33.2 | 11.5 | 96.5% |
| | 4F_PESSOAL | 0.17 | 32.3 | 11.8 | 96.8% |
| | 4F_CONTABILIDADE | 0.19 | 38.1 | 16.0 | 96.0% |
| | 4F_COMPRAS | 0.13 | 29.8 | 15.4 | 97.1% |
| | 4F_SUPERINTENDENCIA | 0.19 | 39.5 | 15.4 | 97.0% |
| | 4F_SECRETARIA_GERAL | 0.19 | 38.8 | 15.7 | 96.6% |
| | 4F_CAMARIM | 0.62 | 5.5 | 14.5 | 95.5% |
| | 4F_SALA_DANCA | 0.15 | 50.0 | 259.2 | 84.1% |
| | 4F_COPA | 0.51 | 49.4 | 11.7 | 95.4% |
| | 5F_GABINETE_01 | 0.28 | 48.7 | 10.9 | 95.3% |
| | 5F_GABINETE_02 | 0.29 | 51.5 | 10.3 | 95.9% |
| | 5F_GABINETE_03 | 0.29 | 51.5 | 10.3 | 95.8% |
| | 5F_GABINETE_04 | 0.29 | 51.5 | 10.3 | 95.7% |
| | 5F_GABINETE_05 | 0.29 | 51.5 | 10.3 | 95.7% |
| | 5F_GABINETE_06 | 0.28 | 50.1 | 10.6 | 95.4% |
| 5F_GABINETE_07 | 0.25 | 43.7 | 12.1 | 93.3% | |
| 5F_GABINETE_08 | 0.26 | 46.2 | 11.5 | 95.0% | |

| EDIFICAÇÃO | ZONA TÉRMICA | OCUP./m ² | POT. INSTAL. W/m ² | ÁREA m ² | PHOCT |
|----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------|--------------|
| EBA-Anexo Dança | 5F_GABINETE_09 | 0.26 | 46.2 | 11.5 | 95.0% |
| | 5F_GABINETE_10 | 0.26 | 46.2 | 11.5 | 95.1% |
| | 5F_REUNIAO | 0.47 | 6.9 | 23.3 | 96.3% |
| | 5F_ESPACO_CONVIV | 0.23 | 28.8 | 25.7 | 97.2% |
| | 5F_COPA | 0.51 | 49.4 | 11.7 | 95.2% |
| | Média | 0.26 | 40.0 | 34.4 | 91.7% |
| ICB-Bloco H | 2F_SALA1 | 0.67 | 23.8 | 77.8 | 91.9% |
| | 2F_SALA2 | 0.67 | 23.8 | 108.6 | 90.7% |
| | 2F_SALA3 | 0.67 | 23.8 | 77.8 | 91.9% |
| | 2F_SALA4 | 0.67 | 23.8 | 108.6 | 91.1% |
| | 3F_SALA1 | 0.67 | 23.8 | 108.6 | 70.1% |
| | 3F_SALA2 | 0.67 | 23.8 | 38.9 | 86.6% |
| | 3F_SALA3 | 0.67 | 23.8 | 38.9 | 81.4% |
| | 3F_SALA4 | 0.67 | 23.8 | 108.6 | 74.1% |
| | 3F_SALA5 | 0.67 | 23.8 | 38.9 | 82.7% |
| | 3F_SALA6 | 0.67 | 23.8 | 38.9 | 85.3% |
| | 4F_SALA1 | 0.67 | 23.8 | 86.5 | 88.0% |
| | 4F_SALA2 | 0.67 | 23.8 | 85.5 | 81.0% |
| | 4F_SALA3 | 0.67 | 23.8 | 65.8 | 90.3% |
| | 4F_SALACONV | 0.21 | 27.4 | 139.8 | 95.0% |
| | 4F_COPA | 0.42 | 82.2 | 14.1 | 56.3% |
| Média | 0.61 | 25.0 | 75.8 | 85.6% | |
| FAE-Bloco 2 | PROCESSAMENTO TÉCNICO | 0.17 | 36.8 | 54.3 | 75.0% |
| | PERIÓDICOS | 0.18 | 40.3 | 32.5 | 70.2% |
| | CONSERVAÇÃO ACERVO | 0.23 | 32.9 | 42.8 | 68.5% |
| | COPA BIB | 0.39 | 63.2 | 10.1 | 56.1% |
| | SECRETARIA BIB | 0.18 | 40.1 | 32.7 | 68.8% |
| | BEBETECA | 0.16 | 12.0 | 85.7 | 70.5% |
| | ESTUDOS EM GRUPO | 0.10 | 31.2 | 215.6 | 72.1% |
| | CHEFIA | 0.38 | 33.0 | 20.9 | 72.6% |
| | BIBLIOTECA | 0.10 | 8.9 | 471.5 | 73.1% |
| | COLEÇÕES ESPECIAIS | 0.13 | 16.2 | 53.0 | 77.7% |
| | CABINE 1 | 0.61 | 47.2 | 6.6 | 71.4% |
| | CABINE 2 | 0.56 | 43.7 | 7.1 | 70.2% |
| | CABINE 3 | 0.61 | 47.2 | 6.6 | 70.3% |
| | CABINE 4 | 0.56 | 71.8 | 7.1 | 70.7% |
| | AUDITÓRIO | 0.70 | 28.5 | 159.8 | 75.7% |
| | REUNIÃO | 1.13 | 24.6 | 19.5 | 70.6% |
| | COORDENAÇÃO | 0.32 | 34.6 | 103.9 | 73.8% |
| | FINANCEIRO | 0.32 | 33.3 | 12.3 | 77.6% |
| | ALMOXERIFADO | 0.23 | 36.2 | 13.0 | 78.4% |
| | REVISTA | 0.28 | 29.9 | 28.1 | 75.2% |
| SECRETARIA PROMESTRE | 0.32 | 38.3 | 34.2 | 75.6% | |
| SALA MULTIUSO | 0.83 | 20.2 | 38.7 | 79.3% | |
| COPA | 0.63 | 67.4 | 9.5 | 66.7% | |

| EDIFICAÇÃO | ZONA TÉRMICA | OCUP./m ² | POT. INSTAL. W/m ² | ÁREA m ² | PHOCT |
|-------------|--------------|----------------------|-------------------------------|---------------------|--------------|
| FAE-Bloco 2 | SALA 1 | 0.75 | 14.7 | 42.9 | 77.8% |
| | SALA 2 | 0.75 | 14.7 | 42.9 | 77.8% |
| | SALA 3 | 0.77 | 15.1 | 41.8 | 78.0% |
| | SALA 307 | 0.49 | 14.8 | 59.4 | 78.6% |
| | SALA 308 | 0.38 | 13.3 | 67.6 | 74.9% |
| | SALA 309 | 0.24 | 13.1 | 106.7 | 74.5% |
| | SALA 402 | 0.83 | 14.9 | 77.9 | 76.6% |
| | SALA 403 | 0.71 | 17.1 | 53.3 | 74.9% |
| | SALA 404 | 0.62 | 15.4 | 52.0 | 76.2% |
| | SALA 406 | 0.67 | 15.4 | 52.0 | 76.4% |
| | Média | 0.35 | 20.5 | 62.5 | 74.1% |

ANEXO I – ITEM C.I.1 DO INI-C - CARACTERÍSTICAS DO PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA SIMULAÇÃO TERMO ENERGÉTICA

O programa computacional de simulação termo energética deve possuir, no mínimo, as seguintes características:

- a) Ser um programa para a análise do consumo de energia em edifícios;
- b) Se validado pela ASHRAE Standard 140;
- c) Modelar 8.760 horas por ano;
- d) Modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, sistemas de condicionamento de ar e ventilação natural definidos, separadamente, para cada dia da semana e feriados;
- e) Modelar efeitos de inércia térmica;
- f) Modelar trocas de calor entre a edificação e o solo;
- g) Calcular cargas térmicas latente e sensível;
- h) Ser capaz de simular o sombreamento proveniente de elementos externos às zonas térmicas, como brises, sacadas e o entorno (quando considerado);
- i) Ser capaz de simular os efeitos da ventilação cruzada em um ambiente, ou entre dois ou mais ambientes
- j) Permitir a modelagem de multi-zonas térmicas;
- k) Ter capacidade de simular efeitos das estratégias bioclimáticas adotadas no projeto;
- l) Caso a edificação proposta utilize sistema de condicionamento de ar, o programa deve permitir modelar todos os sistemas de condicionamento de ar presentes na edificação;
- m) Determinar a capacidade solicitada pelo sistema de condicionamento de ar;
- n) Calcular as horas não atendidas pelo sistema de condicionamento de ar;
- o) Calcular as curvas de desempenho de carga parcial para o sistema de condicionamento de ar;
- p) Calcular as curvas de desempenho de correção de capacidade e eficiência para o sistema de aquecimento e refrigeração;
- q) Caso a edificação proposta utilize ventilação natural, o programa deve permitir modelar os de entrada referentes ao funcionamento da ventilação natural na edificação; e
- r) Produzir relatórios horários do uso final de energia.

Fonte: Brasil, 2021a.