



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Artur Martins Kamimura

O impacto das modificações pós-ocupação no desempenho térmico de HIS: estudo de caso em Uberlândia-MG

Florianópolis

2022

Artur Martins Kamimura

O impacto das modificações pós-ocupação no desempenho térmico de HIS: estudo de caso em Uberlândia-MG

Dissertação submetida ao Programa de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, para obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Profa. Michele Fossati, Dra.

Coorientadora: Profa. Ana Paula Melo, Dra.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Kamimura, Artur Martins

O impacto das modificações pós-ocupação no desempenho térmico de HIS: estudo de caso em Uberlândia-MG / Artur Martins Kamimura ; orientadora, Michele Fossati, coorientadora, Ana Paula Melo, 2022.
108 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Desempenho térmico. 3. Habitações de interesse social. 4. Modificações Pós-Ocupação..
I. Fossati, Michele. II. Melo, Ana Paula. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Artur Martins Kamimura

O impacto das modificações pós-ocupação no desempenho térmico de HIS: estudo de caso em Uberlândia-MG

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Roberto Lamberts, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Martin Gabriel Ordenes Mizgier, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Maria Andrea Triana Montes, Dra.
Membro Externo

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo

Prof. Paolo Colosso, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação

Profa. Michele Fossati, Dra.
Orientadora

Florianópolis, 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, por todo apoio, incentivo e exemplo que foram pra mim desde os primeiros passos desta jornada. Também aos meus irmãos, que sempre foram grandes apoiadores na minha vida pessoal e profissional.

Meus mais sinceros agradecimentos à Vanessa Costa Muniz, por todo amor, carinho, suporte, paciência e parceria em todos os momentos.

Agradeço à minha orientadora, professora Michele Fossati, que sempre acreditou nas minhas ideias e me guiou com muita sabedoria neste trabalho. Também à minha coorientadora, professora Ana Paula Melo, agradeço pela paciência, orientação e pelos muitos aprendizados que me proporcionou.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, meu muito obrigado. Faço menção especial ao Rafael Santos, pelo apoio e amizade tão importantes em Florianópolis. Aos amigos e colegas de LabEEE, Rafael Giaretta, Verônica Gnecco, Mateus Bavaresco e Matheus Geraldi, pela acolhida, trocas de experiências e motivação. À Letícia Eli, Marcelo Olinger, Matheus Bracht e Rayner Maurício, que foram além de colegas, mentores em vários temas acadêmicos.

Por fim, em um trabalho escrito em meio a uma pandemia, agradeço a todas as pessoas e instituições que acreditam na ciência, e que se esforçam para que dela venham benefícios à sociedade e ao país.

RESUMO

Desde 2009, mais de quatro milhões de unidades de habitações de interesse social (HIS) foram entregues no Brasil. Apesar do impacto positivo sobre o déficit habitacional, as HIS são frequentemente criticadas quanto à sua qualidade projetual e construtiva. Moradores relatam, dentre outros problemas, desconforto térmico, alto custo de manutenção, falta de segurança, e a necessidade de maiores espaços nessas habitações. Uma vez insatisfeitos, eles modificam suas edificações, a fim de que elas atendam às suas demandas. Modificadas, as habitações sofrem impactos na ventilação natural e nos fluxos de calor pelas superfícies e, assim, têm possíveis mudanças no desempenho térmico e no consumo energético. Visando mensurar os impactos das modificações realizadas pelos usuários, neste trabalho foram estudadas variações de modificações em HIS unifamiliares do Residencial Pequis em Uberlândia-MG. Considerou-se 18 casos, combinando a adição de muros, garagem e quarto, e paredes externas com três diferentes absorvâncias à radiação solar, representadas pelas cores branca, areia e verde. Os impactos foram mensurados pela alteração no desempenho térmico, determinado aplicando-se o método de simulação da ABNT NBR 15575-1:2021, e pelo custo do consumo energético para condicionamento. Os resultados mostram que as edificações tiveram, em geral, melhora no nível de desempenho térmico com a adição de um quarto, e que, apesar das modificações na geometria das edificações, as cores das paredes externas foram os fatores de maior impacto sobre o desempenho térmico e consumo. Para o caso com a adição de muros, garagem na parte frontal e quarto na parte posterior do terreno, por exemplo, o uso da cor verde nas paredes externas resultou em desempenho térmico Mínimo, com a cor areia o desempenho térmico foi Intermediário, e com a cor branca o nível obtido foi Superior. A análise dos resultados mostrou ainda, que em alguns casos, apesar de resultarem em menores valores de cargas térmicas, o uso das cores areia e branco levou ao não atendimento dos requisitos de temperatura operativa mínima de acordo com a NBR 15575-1. Em geral as modificações na geometria e o uso de cores mais escuras provocam aumento de cargas térmicas e consumo para condicionamento. Esse aumento, dentre edificações de mesma geometria, chega a 46% quando se compara o caso com adição de muros, quarto na parte posterior e garagem, com paredes externas nas cores branco e verde. Concluiu-se, portanto, que as demandas dos usuários de HIS devem ser corretamente consideradas nas fases de projeto dessas edificações. Modificações e ampliações que não sigam as premissas de projeto resultam em problemas como redução do nível de desempenho térmico e aumento do consumo energético, o que, no atual cenário nacional, com crise energética e grande índice de inadimplência nas contas de energia elétrica, é ainda mais grave. A consulta às Análises Pós-Ocupação realizadas localmente e o uso de simulações computacionais são, respectivamente, ferramentas que podem auxiliar no conhecimento das demandas dos moradores e na predição de seus possíveis impactos, possibilitando a concepção de projetos que atendam às demandas dos reais dos habitantes, evitando os impactos negativos de alterações não previstas.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Habitações de interesse social. Modificações Pós-Ocupação.

ABSTRACT

Since 2009, more than four million social housing units (HIS) have been delivered in Brazil. Despite the positive impact on the housing deficit, HIS are often criticized for their design and construction quality. Residents report problems like thermal discomfort, high maintenance costs, lack of security, and the need of more built-up area. Once dissatisfied, the users modify the buildings in order to meet their demands. When modified, the buildings will be susceptible to problems, such as natural ventilation reductions and changes on heat fluxes through surfaces, and thus, they will be susceptible to possible changes in thermal performance and increases in energy consumption. Aiming to measure the impacts of modifications performed by the dwellers, modifications in single-family HIS, at a neighborhood called Residencial Pequis in Uberlândia-MG, were studied in this work. 18 cases were considered, combining the addition of walls, garages and bedrooms, with external walls in three colors. The impacts were measured by the building's thermal performance, calculated with the simulation method from the ABNT NBR 15575-1:2021, and by the cost of energy consumption for air conditioning. The results showed that, in general, the buildings had their thermal performance improved with the addition of bedrooms. However, despite the changes in the geometry, the colors of the external walls caused the biggest impacts on thermal performance and energy consumption. For the building with the addition of walls around the lot, garage and a bedroom, for example, there was Minimum thermal performance with green external walls, Intermediate thermal performance for sand-colored external walls, and Superior thermal performance for white external walls. The analysis of the results also showed that, in some cases, despite resulting in lower thermal loads, the use of lighter colors led to non-compliance with the minimum operating temperature requirements of NBR 15575-1. In general, changes in geometry and the use of darker colors cause an increase in thermal loads and consumption for conditioning. This increase, among buildings with the same geometry, reaches 46% when comparing the building with the addition of walls around the lot, a bedroom and a garage, with external walls in white and green colors. Therefore, it was concluded that the demands of HIS users must be correctly considered in the design phases of these buildings. Modifications and expansions that do not follow the projects premises, result in problems such as a reduction in the level of thermal performance and an increase in energy consumption, which, in the current national scenario, with an energy crisis and a large rate of default on electricity bills, is even worse. By consulting the Post-Occupation Analyzes performed locally and using computer simulations, designers and project managers can have a better understanding of the residents demands and, therefore, avoid the possible consequences of unanticipated changes.

Keywords: Thermal performance. Social housing. Post-Occupancy Modifications.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caracterização das tipologias das UHs do PMCMV por estado	19
Figura 2 - Déficit habitacional brasileiro, divisão por estado.....	20
Figura 3 - Índice Geral de Importância relatado pelos usuários.....	25
Figura 4 - Modificações desejadas pelos usuários.....	26
Figura 5 - Ábaco e equações para a obtenção do $\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$ quando o $\text{PHFT}_{\text{UH,ref}}$ for inferior a 70 %	33
Figura 6 - Consumo de energia elétrica no Brasil, estratificação por classe	40
Figura 7 - Fluxograma ilustrativo do método.....	43
Figura 8 - Diferentes tipos de fechamento frontal nas edificações.....	44
Figura 9 - Modificações em edificações observadas no Residencial Pequis.....	45
Figura 10 - Variação de cores das paredes externas.....	47
Figura 11 - HIS construída no Residencial Pequis em Uberlândia-MG: (a) planta baixa e (b) vista leste e sul do CB.....	49
Figura 12 - Falta de uniformidade na altura de muros	50
Figura 13 - Edificação com a implantação de muros: (a) caso base e (b) modificação 1	50
Figura 14 - Varanda frontal na edificação: (a) caso base e (b) modificação 2	51
Figura 15 - Disposição do quarto adicional: (a) caso base, (b) modificação 3 e (c) planta baixa com o quarto adicional.....	52
Figura 16 - Combinação de modificações: (a) caso base e (b) modificação 4	53
Figura 17 - Comparação de projetos: (a) planta baixa original, (b) projeto de ampliação proposto pela construtora, (c) caso base e (d) modificação 5.....	54
Figura 18 - Ilustração do entorno da edificação, com destaque para a edificação estudada	56
Figura 19 - Ilustração do balanço térmico no ar	59
Figura 20 - Cargas térmicas anuais da UH por área condicionada.....	63
Figura 21 - Cargas térmicas para a sala, por m^2	69
Figura 22 - Cargas térmicas para os dormitórios, por m^2	70
Figura 23 - Cargas térmicas das edificações reais e suas condições de referência	71
Figura 24 - Comparação das variações de PHFT e cargas térmicas das UHs	73
Figura 25 - Balanço térmico no ar para o APP sala, variações em cor areia, com VN	80
Figura 26 - Balanço térmico no ar para AC, APP sala, variações em cor areia	82
Figura 27 - Balanço térmico no ar do caso "CB+Muros" e variação das cores das paredes externas	84
Figura 28 - Balanço térmico no dia com as menores temperaturas operativas	86
Figura 29 - Custos relativos à eletricidade para condicionamento	88
Figura 30 - Custos relativos à eletricidade para condicionamento das UHs com três quartos	89
Figura 31 - Custos relativos à eletricidade para condicionamento, valores mensais e por habitante da UH	90
Figura 32 - Custo da eletricidade para condicionamento por m^2 condicionado	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ e redução mínima da $CgTT_{UH,real}$ para o atendimento ao nível de desempenho térmico intermediário	32
Tabela 2 - Incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ e redução mínima da $CgTT_{UH,real}$ para o atendimento ao nível de desempenho térmico superior.....	32
Tabela 3 - Cargas térmicas das modificações geométricas: resultados e comparação por cor de parede externa	62
Tabela 4 - Área condicionada de cada variação	63
Tabela 5 - Cargas térmicas de aquecimento e resfriamento, por APP	66
Tabela 6 - Cargas térmicas de aquecimento e resfriamento, por m^2 e por APP	67
Tabela 7 - Percentual das cargas térmicas da UH relativas às salas e dormitórios	68
Tabela 8 - Cargas térmicas das edificações em suas condições real e referência	72
Tabela 9 - Comparação dos PHFT para UHs reais e na condição referência.....	74
Tabela 10 - Temperaturas operativas máximas das edificações estudadas e suas respectivas referências.....	76
Tabela 11 - Temperaturas operativas mínimas das edificações estudadas e suas respectivas referências.....	77
Tabela 12 - Classificação do nível de desempenho térmico das edificações	78
Tabela 13 - Classificação dos casos conforme o arquivo climático INMET	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído

APO – Avaliação Pós-Ocupação

APP – Ambiente de Permanência Prolongada

CEE - Coeficiente de eficiência energética de aparelhos de condicionamento de ar

CFD - *Computational Fluid Dynamics*

CPS – Coeficiente de Pressão do ar sobre superfícies

EPE – Empresa de Pesquisas Energéticas

HIS – Habitação de Interesse Social

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INI-R - Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional

MME - Ministério de Minas e Energia

PBQP-H - Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat

PHFT – Percentual de Horas Ocupadas Dentro de uma Faixa de Temperatura Operativa

PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PPH – Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos

RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

SiAC - Sistema de Avaliação de Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil

UH – Unidade Habitacional

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 PMCMV: CARACTERIZAÇÃO E PROBLEMÁTICAS	18
2.1.1 PMCMV em Uberlândia-MG.....	20
2.1.2 Problemáticas da produção em série	22
2.1.3 Avaliações Pós-Ocupação	24
2.2 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	28
2.2.1 ABNT NBR 15575-1.....	29
2.2.2 Elementos que impactam no desempenho térmico de uma edificação	33
2.2.3 Simulação termenergética de edificações e balanço térmico no ar	37
2.3 FUTURO DO CONSUMO ENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS BRASILEIRAS.....	38
2.3.1 PANDEMIA E CRISE ENERGÉTICA	40
2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O REFERENCIAL TEÓRICO	41
3. MÉTODO	42
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA HIS A SER ESTUDADA	44
3.1.1 Caso base	49
3.1.2 Modificação 1: Construção de muros.....	49
3.1.3 Modificação 2: Construção de uma varanda/garagem	50
3.1.4 Modificação 3: Construção de um quarto adicional.....	51
3.1.5 Modificação 4: Combinação de modificações.....	52
3.1.6 Modificação 5: Projeto de ampliação proposto pela construtora	53
3.1.7 Edificações de referência.....	54
3.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	55
3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES.....	57
3.3.1 Balanço térmico no ar.....	58
3.3.2 Comparativo dos custos de eletricidade para condicionamento.....	60

4. RESULTADOS.....	61
4.1 ANÁLISE DOS INDICADORES DE DESEMPENHO	61
4.1.1 Cargas térmicas.....	61
4.1.2 PHFT	72
4.1.3 Temperaturas operativas máximas e mínimas.....	75
4.2 CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO	77
4.3 BALANÇO TÉRMICO NO AR POR CONVECÇÃO	79
4.3.1 Balanço térmico no ar do APP sala para os casos na cor areia	79
4.3.2 Impacto das cores das paredes externas para o caso “CB+Muros”	83
4.3.3 Balanço térmico no ar para o dia com as menores temperaturas operativas ..	85
4.4 CUSTOS DE ELETRICIDADE PARA CONDICIONAMENTO	87
4.5 RESULTADOS PARA O ARQUIVO CLIMÁTICO INMET	92
5. CONCLUSÕES	94
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	98
REFERÊNCIAS.....	99

1. INTRODUÇÃO

Entre os anos de 2016 e 2019 o déficit habitacional brasileiro cresceu cerca de 4%, chegando a 5,87 milhões de domicílios, sendo 5,044 milhões na área urbana e 832 mil em área rural (FJP, 2021). Apesar da tendência de crescimento, o déficit habitacional atual é menor que no ano de 2009, quando era estimado em 5,998 milhões de domicílios (FJP, 2012).

Em 2009, a fim de reduzir o déficit habitacional e fomentar o desenvolvimento econômico nacional, o Governo Brasileiro lançou o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). De 2009 até 2018 foram entregues aproximadamente de quatro milhões de unidades habitacionais, de um total de 5,5 milhões contratadas pelo programa (CNM, 2019). Como uma iniciativa para substituir o PMCMV, em setembro de 2020 foi apresentado pelo Governo Federal o Casa Verde e Amarela, cuja meta é atender a demanda habitacional de 1,6 milhão de famílias brasileiras de baixa renda até 2024, por meio de financiamento das habitações com taxas de juros reduzidas e também subsídios sobre os custos dessas habitações (MDR, 2020a).

Embora tenha sido essencial para a redução do déficit habitacional, a qualidade das habitações entregues pelo PMCV tem sido alvo de críticas e objeto de estudos desde a criação do programa. Segundo Kowaltowski *et al.* (2019), mais de dois mil estudos científicos sobre o PMCMV foram produzidos desde então, mas poucos tratam da habitação segundo a perspectiva do usuário e, embora as pesquisas relativas ao tema tenham gerado melhorias nas habitações entregues pelo programa, os projetos executados nessas habitações ainda não correspondem a diversas necessidades dos usuários.

Para Brandão (2011), as unidades habitacionais entregues no Brasil são muitas vezes projetadas considerando apenas as fases de construção e a ocupação inicial, o que eleva as dificuldades e os custos para a sua adaptação às necessidades dos usuários. A necessidade de modificar e adaptar a habitação às suas necessidades é recorrente, e as modificações começam desde a entrega, motivadas por fatores como a necessidade de geração de renda, desejo por diferenciação das demais habitações, aumento do número de integrantes da família, ou por um projeto arquitetônico que não contemple outras demandas dos usuários (JORGE *et al.*, 2017; MERISIO, SANTOS, JORGE, 2017).

Dentre as principais demandas explicitadas pelos moradores em relação às Habitações de Interesse Social (HIS) estão a necessidade de elementos que tragam mais segurança às habitações, principalmente através da construção de muros laterais, e o desejo por habitações com espaços maiores e com mais cômodos (ARAGÃO; HIROTA, 2016; CONCEIÇÃO; IMAI; URBANO, 2015).

Além de pedidos por maiores espaços e elementos de fechamento, usuários de HIS apresentam queixas acerca da baixa qualidade construtiva e também desconforto térmico em suas edificações (HENTSCHKE *et al.*, 2014). Uma pesquisa de satisfação realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em Conjuntos Habitacionais de Habitações de Interesse Social (CHIS) apontou que a insatisfação com a temperatura interna e com o tamanho das habitações eram, à época, as principais queixas dos moradores (IPEA, 2014).

Sobre a perspectiva do usuário, Brasileiro, Morgado e Luz (2017) reforçam a necessidade de se conceber as HIS visando não apenas o menor custo de construção, mas também o baixo custo de manutenção e operação, destacando que muitos dos moradores de HIS não têm condições financeiras para a aquisição e/ou manutenção de equipamentos como ventiladores e ar condicionados. Autores como Bodach e Hamhaber (2010) legitimam a importância do planejamento das HIS para que essas tenham baixo custo operacional, no qual se inclui o custeio da energia elétrica, evitando inadimplência e até evasão dos moradores.

No Brasil existem regulamentos e normas cujo intuito é garantir o desempenho e/ou contribuir para a eficiência energética de edificações habitacionais. A NBR 15220 (ABNT, 2005) trata do desempenho térmico de edificações e diretrizes construtivas para habitações de interesse social, de forma que se considere a variedade climática brasileira. O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2012) apresenta a metodologia para obtenção da classe de eficiência energética dessas edificações, e atualmente está em revisão, a partir da qual será instituída a Instrução Normativa para a Classificação de Eficiência de Edificações Residenciais (INI-R) (INMETRO, 2021). Já a NBR 15575 (ABNT, 2021) detalha requisitos obrigatórios de desempenho de edificações habitacionais, tais como requisitos para os sistemas estruturais, sistemas de pisos, vedações verticais, coberturas, sistemas hidrossanitários, e os requisitos para a avaliação de desempenho térmico destes sistemas.

Em 2021 foi publicada a uma nova versão da NBR 15575-1 (ABNT, 2021). Dentre os itens atualizados, está o método de avaliação do nível de desempenho térmico de edificações habitacionais, o qual contempla, dentre outros, a avaliação do desempenho térmico por meio da simulação computacional. Em linhas gerais, para a avaliação do desempenho térmico de uma edificação pelo novo método de simulação da NBR 15575-1, uma edificação deve ter sua condição real comparada à condição de referência, e, para cada uma, dois cenários devem ser avaliados: essa edificação ventilada naturalmente e também condicionada artificialmente. A partir desses dois cenários são mensuradas as temperaturas operativas máximas e mínimas, o Percentual de Horas Ocupadas dentro de uma Faixa de Temperatura (PHFT), e as cargas térmicas de aquecimento e resfriamento dos ambientes. A comparação desses indicadores levará à obtenção do nível de desempenho térmico da edificação.

Tendo em vista que a avaliação das condições da edificação sob o regime de ventilação natural é parte relevante do método da NBR 15575-1, é importante compreender processos que possam impactá-la e, conseqüentemente, afetar o desempenho térmico da habitação. Em cenários simulados, autores como Oliveira (2009) e Castaño (2017) identificaram, em habitações unifamiliares, que muros laterais e também modificações promovidas pelos usuários (por meio da autoconstrução) impactam negativamente nas trocas de ar e temperaturas internas das habitações, podendo gerar desconforto térmico e aumento da necessidade de condicionamento ativo dos ambientes.

Após a entrega das habitações, o poder público tem pouco controle sobre as modificações realizadas. Não havendo o controle necessário, as transformações frequentemente não seguem as normatizações vigentes para edificações, nem mesmo os planos e leis locais relativos à urbanização. Tais transformações são realizadas à vista de demandas imediatas e muitas vezes ocorrem com baixa qualificação técnica e/ou materiais de reuso, levando à precarização da habitação (ORSI, 2020).

Com a crescente demanda por novas edificações, e com a continuidade de programas que visam a construção de novas HIS, nota-se que, mesmo com a prioridade de se otimizar custos e processos, a concepção dessas edificações também deve ser pautada no atendimento das demandas de seus futuros moradores. Investigar os impactos, tanto em termos de consumo energético, quanto avaliando o desempenho térmico das edificações com

modificações realizadas pelos usuários, traz a possibilidade de contribuições para projetos futuros, uma vez que não se pode dissociar as demandas e as modificações promovidas pelos usuários do comportamento real da edificação.

1.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem como objetivo principal analisar o impacto das modificações pós-ocupação no desempenho térmico de HIS localizadas em Uberlândia-MG.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos têm-se:

- Identificar as principais modificações pós-ocupação no Residencial Pequim, em Uberlândia-MG;
- Avaliar o aumento do consumo energético da HIS estudada, frente a diferentes modificações pós-ocupação;
- Comparar o impacto das diferentes modificações pós-ocupação nos custos anuais relativos ao consumo de energia para condicionamento das edificações.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo é de introdução e justificativa do tema escolhido, com a contextualização do déficit habitacional nacional, apresentação de pesquisas que nortearam a escolha do tema e também dos objetivos. No segundo capítulo é apresentado o referencial teórico, incluindo temas relevantes para fundamentação da pesquisa. No terceiro capítulo foi detalhada a metodologia usada para responder aos objetivos da pesquisa. O quarto capítulo apresenta os resultados das análises propostas na metodologia. Por fim, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões obtidas frente aos resultados do trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

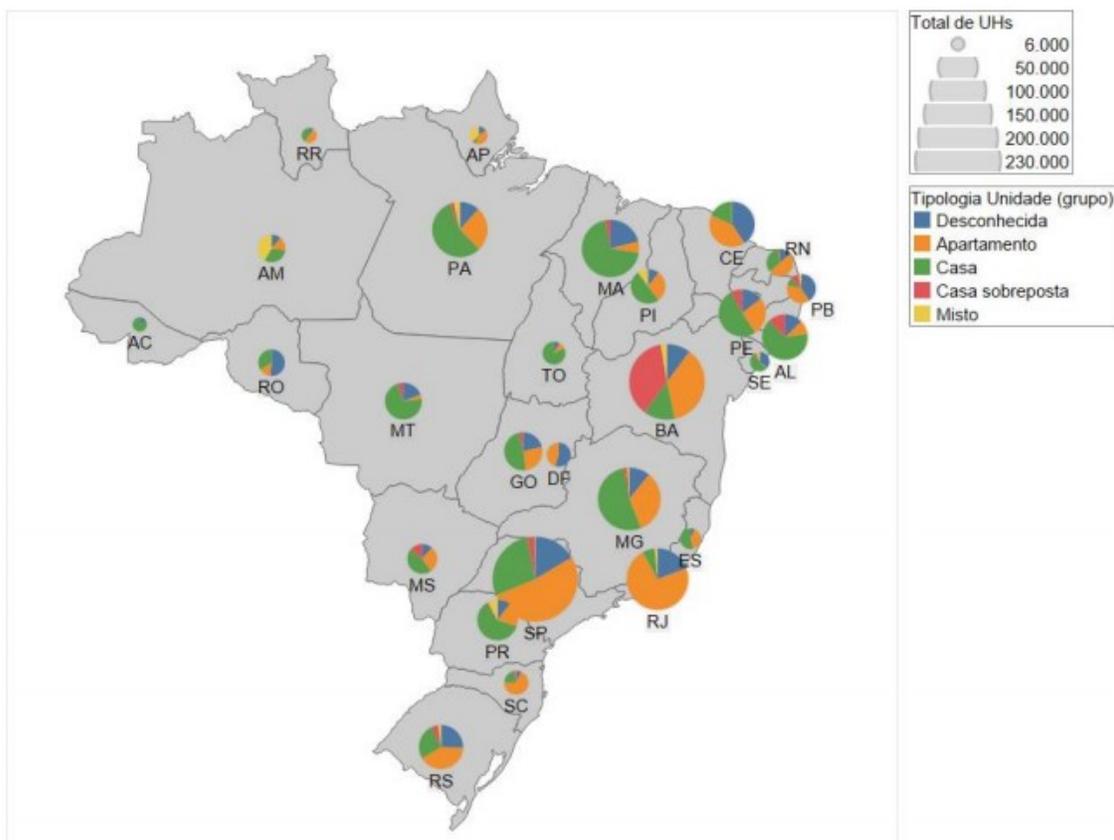
Neste capítulo são apresentadas pesquisas sobre os programas governamentais para a redução do déficit habitacional brasileiro e suas problemáticas, revisões sobre Avaliações Pós-Ocupação e modificações em HIS, informações sobre o consumo energético em edificações residenciais e suas tendências futuras, referências normativas, revisão bibliográfica sobre desempenho térmico em edificações, além de pesquisas realizadas em habitações do empreendimento unifamiliar Residencial Pequis, local que foi objeto de estudo deste trabalho.

2.1 PMCMV: CARACTERIZAÇÃO E PROBLEMÁTICAS

Lançado em 2009, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) foi uma iniciativa para viabilizar o acesso à moradia à população que compõe o enorme déficit habitacional do Brasil. A Caixa Econômica Federal, principal órgão de controle do PMCMV, estabeleceu como exigências mínimas para habitação unifamiliares do PMCMV as seguintes premissas: as áreas e dimensões mínimas de habitação deveriam obedecer aos critérios de adequação do mobiliário mínimo definido nas especificações da Portaria 660/2018 do Ministério das Cidades (BRASIL, 2018a), com no mínimo dois dormitórios, uma sala de estar/refeições, uma cozinha e um banheiro, com a área da casa totalizando no mínimo 36,00 m², se a área de serviço for externa, ou 38,00 m², se a área de serviços for interna (CEF, 2020).

Ortiz e Bavaresco (2019) a partir de dados do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR, 2020b) apontaram que as tipologias de habitações de interesse social vinculadas ao PMCMV variaram fortemente de acordo com os estados e regiões, conforme ilustrado na Figura 1. Dados do MDR (2020b) indicam que Minas Gerais, estado com o segundo maior déficit habitacional do país, foi o terceiro em números de unidades habitacionais (UHs) contratadas pelo Programa até 2019 (123.164 UHs). Ortiz e Bavaresco (2019) apontam ainda que em Minas Gerais há uma prevalência de UHs unifamiliares, dentre as quais consideram-se habitações isoladas e geminadas. Essa lógica se repete na cidade mineira de Uberlândia, onde do total de 11.548 UHs enquadradas na faixa 1 e concluídas até 2019, 83% eram unifamiliares.

Figura 1 - Caracterização das tipologias das UHs do PMCMV por estado



Fonte: Ortiz e Bavaresco (2019)

Em setembro de 2020 foi lançado oficialmente o programa Casa Verde e Amarela, como uma proposta de readequação do PMCMV. No novo programa, a construção de habitações para famílias de baixa renda se mantém como principal objetivo, e a meta passa a ser a construção de 1,6 milhão de habitações adicionais até 2024. No Casa Verde e Amarela, como no PMCMV, são enquadradas famílias com renda mensal de até R\$ 7.000,00. Mas, ao contrário do que ocorria no PMCMV, em que havia subsídios e redução de juros para famílias nas faixas 1 (renda até R\$ 1.800,00), 1,5 (renda até R\$ 2.600,00) e 2 (renda até R\$ 4.000,00), no Casa Verde e Amarela esses benefícios contemplarão apenas as famílias com renda até R\$ 2.000,00, enquanto para as demais faixas de renda o programa terá como principal benefício apenas a redução das taxas de juros (MDR, 2020a).

Segundo Almeida *et al.* (2018), entre 1990 e 2010 o crescimento populacional em Uberlândia gerou aumento de mais de 100% da população, que passou de 300 para mais de 600 mil habitantes. Os autores afirmam que esse crescimento acelerado refletiu diretamente na escassez de moradias na cidade e, com a ausência de políticas públicas efetivas voltadas a essa questão, o volume de pessoas sem acesso à moradia também cresceu significativamente.

Diante de um cenário crítico de falta de habitações e ciente dos impactos desse problema, em 2009 a administração municipal elaborou um documento chamado “Plano Local de Habitação de Interesse Social” (PMU, 2009). O documento, descrevendo a condição precária de ocupações, assentamentos e loteamentos irregulares na cidade, apontou que mais de 15 mil pessoas viviam nessas condições à época na cidade.

O levantamento público mais completo sobre o déficit habitacional de Uberlândia data de 2013, compilando dados de 2010. Naquela época, os dados apontavam que o déficit habitacional de Uberlândia era de 19.482 UHs em área urbana (FJP, 2013).

Até o ano de 2020 foram construídas 11.548 UHs em Uberlândia que se enquadravam na faixa 1 do PMCMV. Dessas, 1.952 são do tipo multifamiliar e outras 9.596 UHs unifamiliares (83,1% do total). Em 2016 foram entregues as primeiras UHs do Residencial Pequis em Uberlândia. As 3.200 casas estão localizadas na periferia Oeste, e o empreendimento é o maior já construído na cidade, representando mais de um terço das habitações unifamiliares uberlandenses dentro da faixa 1 do PMCMV (MDR, 2020a).

O Residencial Pequis já foi objeto de pesquisas que relataram, dentre outros, os problemas relativos à periferização dos bairros na cidade de Uberlândia e a falta de equipamentos e serviços públicos nessas regiões periféricas (CHAVES, 2019). Souza (2018) realizou nesse conjunto habitacional um levantamento relativo à qualidade construtiva das habitações entregues e relatou elevado índice de manifestações patológicas nas habitações do empreendimento. Além das patologias apresentadas por Souza (2018), Santos (2019) afirma que, no mesmo empreendimento, 55% dos moradores relatam insatisfação com o tamanho da área construída de suas habitações.

Apesar da construção das mais de 11 mil UHs destinadas a famílias na cidade, Uberlândia ainda convive com a falta de moradia. Almeida *et al.* (2018), em levantamento buscando quantificar as ocupações urbanas uberlandenses, relataram que entre 2011 e 2016,

um total de 24 ocupações foram noticiadas na mídia local, com cinco dessas sendo alvo de reintegração de posse. O problema da falta de moradia também pode ser notado nos dados do programa “Tchau Aluguel” elaborado pela municipalidade (MEDRADO, 2021). Nesse programa, que objetivava facilitar a liberação de crédito imobiliário para famílias com renda entre R\$ 1.800,00 e R\$ 2.600,00, foram cadastradas mais de 10 mil pessoas, mas apenas 120 foram aprovadas para o recebimento, já que a maior parte delas tinha renda comprovada abaixo dos R\$ 1.800,00, cenário que evidencia a carência de HIS subsidiadas na cidade e, conseqüentemente, a necessidade de se pensar com antecedência na qualidade do projeto das habitações que serão oferecidas.

2.1.2 Problemáticas da produção em série

As formações familiares e os espaços destinados à moradia passaram por transformações ao longo dos anos, uma vez que suas necessidades também variaram com o tempo (MENDONÇA; VILLA, 2016). Também o adensamento urbano e a especulação imobiliária contribuíram para a redução dos espaços destinados à moradia, com ofertas crescentes de habitações com espaços reduzidos. Essa redução, quando em excesso, prejudica o conforto funcional do usuário e também o arranjo físico dos ambientes (KAPITZKY; MUNIZ; CUNHA, 2019).

Apesar de normas como a NBR 15575 (ABNT, 2021), que define índices mínimos de desempenho, e de programas como o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), observa-se que a produção de habitações de interesse social em seu caráter tipológico e construtivo, ocorre em processo de série, sem a correta adequação a diversos contextos, principalmente o climático (GUARDA *et al.*, 2018; MORENO, 2013).

Carvalho (2012) indica que os responsáveis pela construção das habitações unifamiliares de interesse social no país optam pela repetição das unidades como alternativa para reduzir os custos e facilitar a execução. A autora destaca ainda que muitos projetos não apresentam a localização ou orientação solar, não considerando esses elementos importantes nas considerações projetuais. Também Cardoso *et al.* (2016), a partir de pesquisas realizadas no estado do Rio de Janeiro, apontaram que em edificações do PMCMV há majoritariamente o objetivo de se construir de forma rápida, visando atender às metas estabelecidas, tornando

coadjuvante a qualidade do ambiente construído. Relatos de falta de qualidade construtiva e problemas projetuais em HIS não são exclusividade brasileira, e muitas vezes tem como consequências o desconforto térmico e a falta de qualidade ambiental em geral, levando a uma necessidade de busca por meios de condicionamento artificial (SANTAMOURIS *et al.*, 2007).

Para Jorge *et al.* (2017), as habitações de interesse social brasileiras são construídas para suprir necessidades emergenciais, com dimensões mínimas e visando apenas aspectos econômicos e a construção em grande escala. Os autores indicam que as unidades habitacionais passam por transformações desde a entrega, incluindo alterações internas, ampliações, e, em alguns casos, há a total demolição da unidade entregue e sua total reconstrução. A partir da realidade indicada, os autores apresentam a urgência em se pensar na evolução planejada da unidade habitacional, para que o crescimento futuro dessa unidade ocorra de forma segura, com menor desperdício financeiro e minimizando incompatibilidades frequentemente notadas em processos de autoconstrução.

Parreira e Villa (2019) relatam que a baixa flexibilidade das HIS é configurada pela concepção das habitações, que são projetadas com espaços mínimos e com projetos que limitam a expansão da edificação. Essas habitações, de baixa qualidade arquitetônica e urbanística, geram sensação negativa de bem-estar em seus moradores (ARAÚJO; VILLA, 2020).

Apesar dos problemas relatados, no contexto dos programas habitacionais direcionados às HIS, é necessário destacar o papel do PBQP-H, cujas funções principais são melhorar a qualidade das habitações e modernizar seu processo produtivo (BRASIL, 2018b). Dentre as iniciativas do PBQP-H está o Sistema de Avaliação de Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil (SiAc) (BRASIL, 2017), sistema que tem como uma de suas exigências o atendimento aos requisitos de desempenho previstos na NBR 15575.

O atendimento aos requisitos do PBQP-H e conseqüentemente à norma de desempenho são condições necessárias para que as empresas consigam financiamentos públicos e privados para a construção de HIS no país (BRASIL, 2018b). No entanto, a implementação da exigência do atendimento à NBR 15575 pelo PBQP-H, em 2017, foi tardia, já que o PMCMV foi criado em 2009, e a maior parte das HIS brasileiras foi entregue até 2014, com contratações significativamente reduzidas desde 2019 (MDR,2020b).

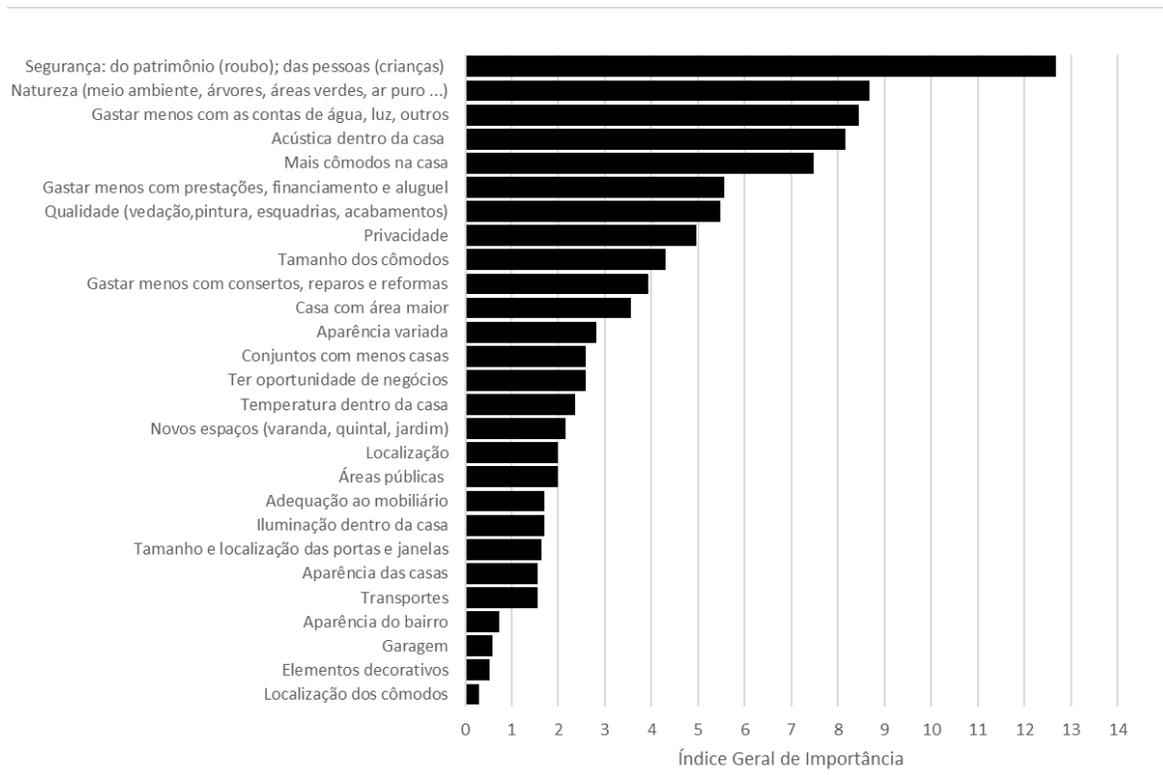
2.1.3 Avaliações Pós-Ocupação

Uma das maneiras de mensurar as características, qualidades e problemas das habitações construídas é através de uma Avaliação Pós-Ocupação (APO). Define-se APO como um conjunto de métodos e técnicas que visam avaliar o desempenho de edificações durante sua fase de uso, com o intuito de mensurar a satisfação do usuário a respeito dos ambientes que habita e frequenta, considerando pontos socioeconômicos, funcionais, de infraestrutura e conforto, por exemplo (DE ANDRADE ROMÉRO; ORNSTEIN, 2003). Assim, é possível que se sejam feitos diagnósticos consistentes acerca de pontos positivos e negativos encontrados nos ambientes construídos, a fim de fundamentar recomendações e intervenções nas edificações estudadas e em projetos futuros (VILLA; SARAMAGO; GARCIA, 2016).

No Brasil, diversos estudos sobre o período de pós-ocupação de edificações do PMCMV foram realizados desde o começo do programa, com distintas metodologias e buscando avaliar temáticas diferentes, tais como conforto térmico, qualidade construtiva das habitações, dentre outros indicadores de satisfação dos usuários quanto às edificações (BOGO, 2018; NETO, 2019; SARAMAGO; VILLA; PORTILHO, 2016; VILLA; STEFANI; OLIVEIRA, 2019).

Buscando hierarquizar as demandas que os usuários declararam acerca dos ambientes em que vivem, Conceição, Imai e Urbano (2015) realizaram um estudo de APO a partir de uma amostra de 93 entrevistados em um conjunto habitacional enquadrado na faixa 1 do PMCMV, localizado no município de Londrina, no Paraná. Os autores apresentaram a hierarquia conforme um Índice Geral de Importância (IGI), ilustrado na Figura 3, ressaltando demandas como a segurança do patrimônio, a redução de contas como energia e água e a presença de mais cômodos nas casas. A partir de tais índices, Aragão e Hirota (2016), baseando-se no método de Desdobramento da Função Qualidade, apresentaram recomendações projetuais que pudessem atender às reivindicações. Dentre as recomendações apresentadas, destacam-se a necessidade de prever o fechamento dos lotes com muros, incluindo portões para acesso à moradia, a requisição de um terceiro quarto e a construção de uma varanda/garagem na porção frontal da edificação.

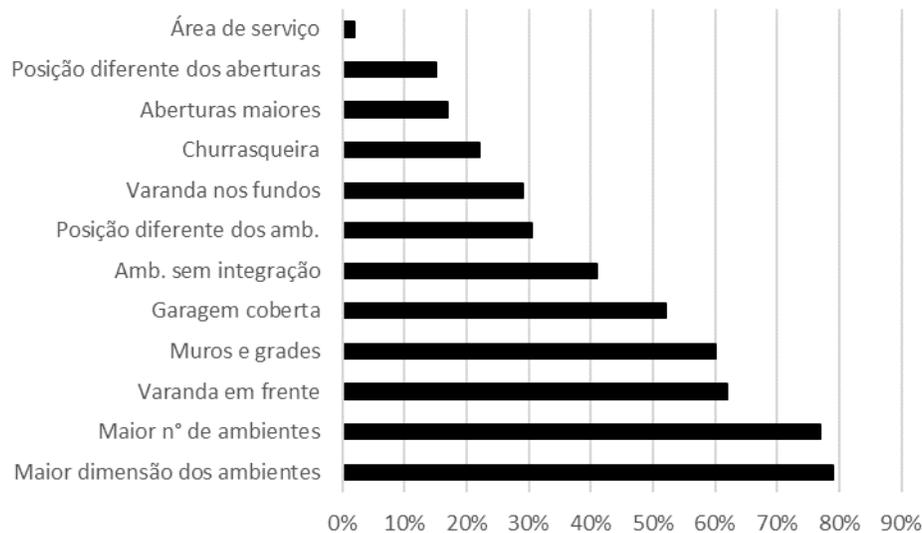
Figura 3 - Índice Geral de Importância relatado pelos usuários



Fonte: Adaptado de Conceição, Imai e Urbano (2015)

Berleze, Silvano e Silva Júnior (2019) realizaram um estudo sobre as percepções e necessidades dos usuários em edificações unifamiliares do PMCMV; foram entrevistados moradores de 120 unidades habitacionais em um conjunto habitacional na cidade de Chapecó, em Santa Catarina. A partir dos resultados do estudo, os autores puderam concluir que dentre as principais modificações desejadas pelos usuários estão o maior número de ambientes, a construção de uma varanda na porção frontal da casa, a necessidade de uma garagem coberta, bem como solicitações por muros e grades. Os resultados são apresentados na Figura 4.

Figura 4 - Modificações desejadas pelos usuários



Fonte: Berleze, Silvos e Silva Júnior (2019)

Abrahão (2017) realizou uma APO em dois conjuntos habitacionais do PMCMV localizados no Paraná. Compostos por unidades unifamiliares, os conjuntos totalizam, juntos, 414 habitações. A autora aponta que 75% das unidades foram cercadas com muros e grades. Os resultados indicam também que dentre as principais intervenções encontradas estão a construção de garagens e a ampliação dos cômodos da casa. Ademais, notou-se que mais da metade dos usuários relatam situações de desconforto térmico nas habitações, sobretudo no inverno, devido às temperaturas tipicamente baixas nesse período no estado.

Silva *et al.* (2020), em uma APO na região metropolitana de Marabá, no Pará, constataram, em uma amostra de 174 UHs em três bairros, que 93% dos moradores relataram desconforto térmico por calor, sendo que 82,2% do total relataram ainda que a percepção é de desconforto todo o tempo. Nessas habitações estudadas, os autores também indicaram que 38% dos usuários percebem pouca ventilação e 45% reclamam de que os espaços da moradia são muito pequenos.

Merisio, Santos e Jorge (2017) realizaram uma APO em um empreendimento residencial de HIS no Espírito Santo, visando compreender quais foram as principais modificações promovidas pelos moradores em suas habitações e também suas causas. A partir dos resultados da pesquisa foram constatadas múltiplas modificações, variando desde a construção de varandas, até a construção de dois pavimentos adicionais. As autoras

destacam, em suas conclusões, a importância de se compreender as necessidades dos moradores ao se conceber um empreendimento residencial. Também ressaltam que, ainda que existam recursos apenas para módulos habitacionais mínimos, devem ser planejadas habitações que facilitem expansões e modificações, visto que as necessidades familiares podem variar e a não previsão das modificações pode gerar problemas como ocupações exacerbadas do terreno, necessidade de modificação da concepção estrutural da edificação, dentre outros.

Chaves (2020) em investigação no empreendimento Residencial Pequis, do PMCMV, na cidade de Uberlândia-MG, apontou que uma das transformações mais comuns observada na paisagem do bairro foi a construção de muros. Segundo o autor, os moradores citam que a construção de muros é motivada principalmente pela necessidade de garantir mais privacidade e segurança. O autor também menciona que muitos moradores do empreendimento adicionam áreas construídas à parte frontal das edificações. Essas áreas têm intuítos variados, como garagens e varandas, podendo, inclusive, servir para fins comerciais.

Em uma pesquisa realizada também no Residencial Pequis, com uma amostra de 368 habitações visitadas, os moradores apontaram que realizaram diversas modificações em suas habitações (KM, 2020). Dentre as principais modificações apontadas, pode-se ressaltar a construção de muros, presente em 95,7% das residências, garagens ou varandas (55%), cômodos adicionais (30,4%) e espaços para fins comerciais (21,1%). Destaca-se também que dentre todos os moradores entrevistados, 15,6% pretendem adicionar mais cômodos à habitação e que apenas 2,6% das habitações visitadas não apresentavam nenhuma modificação.

Outros empreendimentos de HIS em Uberlândia também foram objeto de APO. Villa, Stefani e Oliveira (2019), constataram a falta de flexibilidade nas habitações do Loteamento Sucesso Brasil, uma vez que, segundo as autoras, o projeto adotado dificulta modificações internas, e as modificações com adição de área externa frontal e posterior nas habitações geram problemas como a obstrução de iluminação e ventilação natural nos espaços pré-existent.

2.2 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Segundo Roriz, Ghisi e Lamberts (1999) os primeiros estudos para o desenvolvimento de uma norma brasileira de desempenho térmico de edificações datam da década de 1980, com a criação do Grupo de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído) em 1988. Mas a primeira norma brasileira de desempenho térmico de edificações, a NBR 15220, foi publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apenas em 2005 (ABNT, 2005). Dividida em cinco partes, nela são apresentadas definições, métodos de cálculos de propriedades térmicas, o zoneamento bioclimático brasileiro e descrições de métodos de medição de resistência e condutividade térmica. Ao descrever o zoneamento bioclimático nacional, apresentam-se ainda diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social para cada uma das zonas.

Em 2008 foi apresentada a primeira versão da NBR 15575, com os requisitos para a avaliação do desempenho de edificações habitacionais; essa versão de 2008 era direcionada para habitações de até 5 pavimentos. A partir de demandas de profissionais e do mercado, que encontraram dificuldades ao aplicar a norma, houve mudanças no texto original (CHVATAL, 2014), resultando na publicação de um novo texto em 2013, sendo esse válido para todas as edificações residenciais, não somente aquelas até 5 pavimentos (ABNT, 2013).

A NBR 15575 é dividida em cinco partes, contemplando os seguintes requisitos: parte 1: requisitos gerais; parte 2: requisitos para os sistemas estruturais; parte 3: requisitos para os sistemas de pisos; parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas; parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas; parte 6: requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Na primeira parte da NBR 15575, avaliam-se os quesitos gerais de desempenho, dentre os quais está o desempenho térmico. São previstos três procedimentos de avaliação, o método simplificado, o método de simulação e o método de medição. No Procedimento Simplificado pode ser obtida apenas a avaliação do nível Mínimo de desempenho e o Procedimento de Simulação Computacional é utilizado para avaliar o atendimento dos níveis Mínimo, Intermediário e Superior. No Procedimento Simplificado o desempenho térmico da

UH é avaliado pela comparação da geometria dos ambientes e também das propriedades térmicas dos sistemas construtivos empregados com seus respectivos valores de referências.

2.2.1 ABNT NBR 15575-1

A NBR 15575-1 teve revisão publicada em 2021. No atual procedimento de avaliação do nível de desempenho térmico por Simulação Computacional são desenvolvidos dois modelos computacionais: da edificação real (aquela que está sendo avaliada) e de um modelo de referência. A partir da simulação computacional desses dois modelos são comparadas as temperaturas operativas internas quando UH for ventilada naturalmente e também são mensuradas as cargas térmicas quando existir a necessidade de condicionamento artificial. Ainda no Procedimento de Simulação Computacional presente na NBR 15575-1 (ABNT, 2021), para a avaliação dos indicadores de desempenho térmico das edificações, são avaliadas as cargas térmicas de aquecimento e refrigeração para os ambientes de permanência prolongada (APPs) e também o Percentual de horas dentro de uma faixa de temperatura operativa (PHFT). Os APPs são definidos na NBR 15575-1 como ambientes onde há ocupação continuada de um ou mais indivíduos, sendo caracterizados, em geral, por salas e dormitórios.

Para a obtenção das cargas térmicas desses ambientes devem ser realizadas, separadamente, simulações com o uso de ventilação natural e com o uso de condicionamento artificial dos ambientes.

Na NBR 15575-1, as condições de ventilação natural e condicionamento artificial dependem de elementos como a temperatura externa, ocupação e temperatura operativa interna. Também são descritas no texto as cargas internas de equipamentos, a ocupação, e a iluminação a serem consideradas na avaliação.

Na ventilação natural, as seguintes condições são válidas para a abertura das janelas:

- Os ambientes devem estar ocupados;
- A temperatura de bulbo seco interna do APP deve ser igual ou superior a 19°C;
- A temperatura de bulbo seco interna deve ser superior à temperatura de bulbo seco externa.

Quando existentes, as venezianas devem ser acionadas se a temperatura externa superar os 26°C.

Para as cargas térmicas, mensuram-se as cargas para aquecimento e resfriamento dos APPs. O *setpoint* de referência para o cálculo da carga térmica de refrigeração é de 23°C, e o acionamento do condicionamento artificial deve ocorrer apenas quando o APP estiver ocupado. Em climas com média anual da temperatura externa de bulbo seco inferior a 25°C, situação que ocorre na cidade de Uberlândia (SILVA; GUIMARÃES; TAVARES, 2008) também devem ser consideradas cargas de aquecimento quando houver temperatura operativa inferior a 18°C, e o APP estiver ocupado.

Do modelo simulado apenas com o uso de ventilação natural devem ser extraídas as temperaturas operativas dos APPs. Uma vez obtidos os valores das temperaturas operativas, devem ser calculados, para cada um dos APPs, o número de horas em que o APP encontra-se ocupado e com temperaturas superiores à faixa de temperatura operativa (N_{hsFT}) e número de horas em que o APP encontra-se ocupado e com temperaturas inferiores à faixa de temperatura operativa (N_{hiFT}). Também devem ser contabilizadas as horas totais em que os APPs estiveram ocupados N_{hOcup} , para que assim possam ser calculados o Percentual de horas ocupadas do APP com temperaturas inferiores à faixa de temperatura operativa ($PHiFT$) e o percentual de horas ocupadas do APP com temperaturas superiores à faixa de temperatura operativa ($PHsFT$) conforme as Equações 1 e 2. Para a cidade de Uberlândia essa faixa de temperatura operativa é compreendida entre 18 e 26°C.

$$PHsFT_{APP} = \frac{N_{hsFT}}{N_{hOcup}} \cdot 100 \quad \text{Equação 1}$$

$$PHiFT_{APP} = \frac{N_{hiFT}}{N_{hOcup}} \cdot 100 \quad \text{Equação 2}$$

Calculados os valores de $PHsFT_{APP}$ e $PHiFT_{APP}$ de todos os APPs, calcula-se a média aritmética desses valores para a obtenção dos indicadores da UH, chamados de $PHsFT_{UH}$ e $PHiFT_{UH}$, respectivamente, e o $PHFT$ é calculado pela subtração desses índices em relação à 100% das horas ocupadas.

Para a classificação do desempenho térmico das habitações por meio das simulações computacionais, os padrões de ocupação são: entre 14h e 21h59 para as salas e durante o período compreendido entre 22h e 07h59 para os dormitórios. São consideradas duas pessoas por dormitório. Para a sala foram consideradas duas pessoas entre 14h e 17h59 e quatro pessoas entre 18h e 21h59.

Segundo o que preconiza a NBR 15575-1, a iluminação artificial (5 W/m^2) deve ser acionada na sala das 16h00 às 21h59, e nos dormitórios o acionamento ocorrerá em dois períodos, das 06h00 às 07h59 e das 22h00 às 23h59. Quando às cargas internas relativas a equipamentos, são considerados para sala, no período entre 14h e 21h59, 120 W de potência.

O desempenho térmico de uma edificação é classificado em três níveis. Conforme a NBR 15575-1 (ABNT,2021), para a obtenção desempenho térmico mínimo, devem ser atendidos dois critérios: o PHFT da edificação real deve ser superior a 90% daquele do modelo de referência, e devem ser atendidos os critérios de temperaturas operativas máximas e mínimas, esses válidos também para os níveis intermediário e superior. O critério das temperaturas operativas máximas e mínimas impõe que, na edificação real, essas temperaturas podem variar dentro de um intervalo máximo de temperatura ($\Delta T_{\text{omáx}}$ e $\Delta T_{\text{omín}}$) em relação à edificação de referência. O limite para o $\Delta T_{\text{omáx}}$ é de 2°C adicionais, enquanto o limite para o $\Delta T_{\text{omín}}$ é de até menos 1°C .

Para a avaliação dos níveis de desempenho térmico intermediário e superior devem ser levados em conta o incremento do PHFT e a redução de carga térmica da edificação real em relação à edificação de referência. Os incrementos de PHFT e reduções de carga térmica exigidos dependem do PHFT da edificação de referência ($\text{PHFT}_{\text{UH,ref}}$) e também do resultado da divisão da carga térmica da edificação de referência pela soma da área dos APPs ($A_{\text{p,UH}}$). O incremento de PHFT varia ainda conforme a tipologia da edificação, como indicado na Figura 5. Nesse estudo a edificação é unifamiliar térrea. Os critérios para o atendimento ao nível intermediário estão descritos na Tabela 1, enquanto os critérios para o atendimento ao nível superior são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 - Incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ e redução mínima da $CgTT_{UH,real}$ para o atendimento ao nível de desempenho térmico intermediário

Critério		Tipologia			
		Unifamiliar	Multifamiliar		
			Pavimento térreo	Pavimento tipo	Pavimento cobertura
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH}$ kWh/(ano.m ²)	$\Delta PHFT_{min}$ %			
$PHFT_{UH,ref} < 70\%$	Todos os valores	Obtido a partir do ábaco ou das equações da Figura 5.			
$PHFT_{UH,ref} \geq 70\%$	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH}$ kWh/(ano.m ²)	$RedCgTT_{min}$ %			
$PHFT_{UH,ref} < 70\%$	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH,ref} \geq 70\%$	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} < 100$	17	15	22	15
	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} \geq 100$	27	20	25	20

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2021)

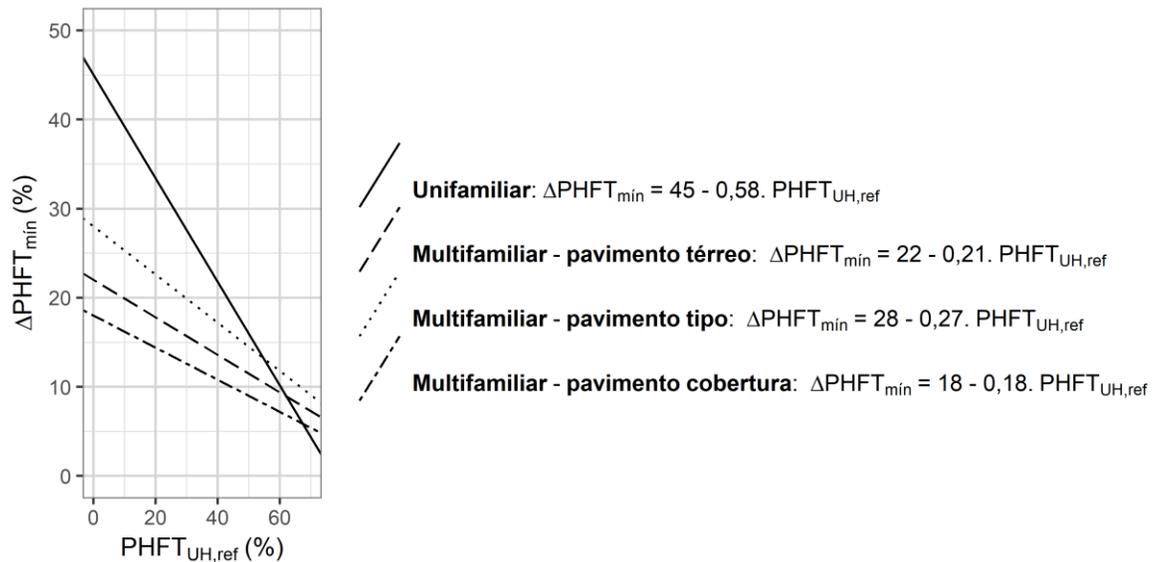
Tabela 2 - Incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ e redução mínima da $CgTT_{UH,real}$ para o atendimento ao nível de desempenho térmico superior

Critério		Tipologia			
		Unifamiliar	Multifamiliar		
			Pavimento térreo	Pavimento tipo	Pavimento cobertura
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH}$ kWh/(ano.m ²)	$\Delta PHFT_{min}$ %			
$PHFT_{UH,ref} < 70\%$	Todos os valores	Obtido a partir do ábaco ou das equações da Figura 5.			
$PHFT_{UH,ref} \geq 70\%$	Todos os valores	0	0	0	0
$PHFT_{UH,ref}$ %	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH}$ kWh/(ano.m ²)	$RedCgTT_{min}$ %			
Todos os valores	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} < 100$	35	30	45	30
	$CgTT_{UH,ref} / A_{p,UH} \geq 100$	55	40	50	40

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

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2021)

Figura 5 - Ábaco e equações para a obtenção do $\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$ quando o $\text{PHFT}_{\text{UH,ref}}$ for inferior a 70 %



Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2021)

2.2.2 Elementos que impactam no desempenho térmico de uma edificação

Quando se avalia o desempenho de uma edificação, deve-se levar em consideração dois elementos importantes: a influência que o meio externo exerce sobre a edificação e também o comportamento dos ocupantes. Quanto à interferência do meio externo na edificação, um dimensionamento visando o melhor desempenho térmico deve considerar a incidência do sol, o comportamento da ventilação natural e ainda os materiais que constituem sua envoltória (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; TUBELO *et al.*, 2018).

Em locais com climas predominantemente frios, como a Europa e os Estados Unidos, nota-se comumente o uso de isolamento térmico, condicionamento ativo e ventilação mecânica como estratégias base que podem garantir conforto térmico em edificações (ADITYA *et al.*, 2017; BESEN; WESTPHAL, 2012; FOSAS *et al.*, 2018; PAPAPOPOULOS, 2005), ao contrário do que se percebe majoritariamente no Brasil. No Brasil, há grande tendência de abertura de janelas para condicionamento dos ambientes, o que pode ser justificado pela predominância de climas amenos e quentes (MELO *et al.*, 2016). Em países de clima tropical, a utilização de ventilação natural é uma importante estratégia quando se visa reduzir o uso de estratégias ativas de condicionamento e,

consequentemente, reduzir o consumo energético (RACKES; MELO; LAMBERTS, 2016). A importância do uso da ventilação natural é reforçada na NBR 15220 (2005), sendo recomendada como estratégia para redução do uso de condicionamento ativo.

A ventilação natural é uma estratégia de grande importância no desempenho térmico de uma edificação. Por meio de trocas de ar por mecanismos naturais, a ventilação natural pode levar à redução do uso de equipamentos de condicionamento de ar, além de fornecer melhor qualidade ambiental aos usuários (ALLOCCA; CHEN; GLICKSMAN, 2003; CHEN; TONG; MALKAWI, 2017; VAN HOOFF; BLOCKEN; TOMINAGA, 2017; KUHN, ORDENES, 2017). Na ventilação natural variados parâmetros influenciam as trocas de ar entre os meios externo e interno, tais como diferenças de temperatura, velocidade do ar, orientação e dimensões da abertura, o entorno e a forma da edificação (IQBAL *et al.*, 2015; JIN *et al.*, 2016).

Em HIS, onde as dificuldades financeiras em geral são realidade da maioria dos futuros moradores, o uso da ventilação natural para condicionamento é especialmente relevante, visto que qualquer custo para condicionamento pode ser significativo (HERNÁNDEZ; PHILLIPS, 2015; SANTAMOURIS *et al.*, 2007). A ventilação natural é um meio rápido e eficiente de remover, por meio das forças naturais do vento, o calor e os poluentes de uma edificação, contribuindo para a redução de resfriamento artificial das edificações (ROSSI *et al.*, 2019; VAN HOOFF; BLOCKEN; TOMINAGA, 2017; SANTAMOURIS *et al.*, 2007). No entanto, a eficiência da ventilação natural na redução da carga de resfriamento em climas tropicais é altamente dependente de uma série de fatores, como o microclima externo, a natureza do terreno, a composição arquitetônica da edificação e o entorno em que essa está inserida (AFLAKI *et al.*, 2015).

As trocas de calor em uma edificação podem ser controladas não só se atentando às trocas de ar que ocorrem com o meio externo, mas também pela correta escolha dos materiais e características da envoltória. A escolha dos materiais que compõe a envoltória de uma edificação e a adequação da envoltória ao clima são fatores de elevada importância em um projeto, pois estas escolhas podem implicar em redução significativa no consumo de energia (JAZAERI; GORDON; ALPCAN, 2019; LEI; YANG; YANG, 2016; SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011).

Em uma envoltória existem dois tipos principais de fechamentos: os opacos e os transparentes. Conforme sua composição, cada um desses elementos pode gerar uma resposta térmica diferente. Em fechamentos opacos, a transmissão do calor transcorre se houver diferença de temperatura, da superfície mais quente para a mais fria através de condução ou convecção. Já em fechamentos transparentes, o calor é transmitido por meio da radiação, além da condução e convecção (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Da Silva e Calado (2020) indicaram que as temperaturas internas e externas de superfícies com diferentes valores de refletância solar variam de acordo com as características climáticas (temperaturas às quais foram expostas), apontando ainda resultados que podem favorecer escolhas e direcionamentos projetuais. Muniz-Gäal *et al.* (2018) investigaram a influência dos materiais de cobertura para a mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbanas e redução do consumo energético de edificações. Os resultados apresentados indicam a importância da correta escolha dos materiais a serem empregados, visto que existe uma gama extensa de valores de refletância solar, que impactam diretamente no desempenho do material e conseqüentemente da edificação. Os resultados de Muniz-Gäal *et al.* (2018) corroboram as conclusões de Kamimura *et al.* (2020), que inferiram sobre o impacto dos valores de absorvância à radiação solar de coberturas e vedações para a redução de cargas térmicas em edificações unifamiliares. Os autores observaram que para edificações inseridas em climas onde há demanda predominante por climatização, superfícies com menor valor de absorvância à radiação solar podem proporcionar redução de carga térmica de resfriamento, enquanto valores maiores de absorvância à radiação solar proporcionam redução para aquecimento se a edificação estiver inserida em climas mais frios. Suehrcke, Peterson e Selby (2008) também demonstraram que cores mais claras (com maiores valores de refletância solar) cooperam na pretensão de se obter temperaturas reduzidas em edificações inseridas em climas quentes.

Rossi e Rocco (2014) demonstraram a importância de se ponderar acerca da transmitância, capacidade térmica e atraso térmico no projeto de edificações, a fim de se obter economia de aquecimento ou resfriamento da edificação, dependendo do contexto climático em que essa estiver inserida. Silva, Almeida e Ghisi (2016) averiguaram as conseqüências do uso de diferentes sistemas construtivos no consumo energético para resfriamento em diferentes condições climáticas. Os resultados indicaram que as melhores

soluções construtivas dependem fortemente de cada condição climática, mas alguns materiais como alvenarias com tijolo cerâmico duplo, destacaram-se, podendo ser uma solução satisfatória para muitas condições climáticas brasileiras.

Outro importante meio de controle do ganho de calor em edificações é o uso de elementos de sombreamento, responsáveis principalmente pelo controle da entrada de luz e do ganho solar pelas janelas (GAGO *et al.*, 2015). Alajmi, Abou-Ziyan e Ghoneim (2016) apontam que o sombreamento é uma estratégia de redução de ganho de calor de simples aplicação e que pode gerar economias de energia significativas. Invidiata e Ghisi (2016) estudaram diferentes materiais como sombreamento de janelas em Florianópolis, visando investigar os impactos no ciclo de vida. Os autores concluíram que o sombreamento proporciona redução expressiva no consumo de ar condicionado durante a fase operacional da edificação; destacaram ainda que a escolha do material de sombreamento pode variar de maneira importante a energia incorporada relativa aos elementos de sombreamento, sendo sistemas de sombreamento em madeira e PVC aqueles com melhores resultados energéticos e de custos.

A geometria das edificações e o contexto urbano em que elas estão inseridas impactam diretamente no escoamento do vento e também nas pressões de vento nas fachadas, influenciando assim, seu comportamento térmico (RAMPONI *et al.*, 2015). Castaño (2017) em pesquisa visando mensurar os impactos de elementos de sombreamento e muros na ventilação natural e no desempenho térmico em HIS, conclui que os elementos de sombreamento apresentaram impactos positivos no desempenho térmico das edificações, mas com importantes alterações nas trocas de ar, inclusive com potenciais aumentos de temperaturas no período noturno. Quanto aos muros, o autor destaca que houve grande impacto nos coeficientes de pressão (CPS) e redução das taxas renovação de ar em até 75%, limitando a remoção de calor das edificações, principalmente no período noturno. Os CPS, essenciais para a simulação computacional da ventilação natural em edificações, dependem, dentre outros fatores, da forma da edificação, do seu entorno, da composição da fachada, da velocidade e direção do vento e da intensidade da turbulência (OLINGER, 2019).

Costa (2019) investigou como os muros podem influenciar na ventilação natural de uma edificação. A autora concluiu, por meio de simulações baseadas na Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), que os muros laterais são importantes agentes causadores de

zonas de estagnação de vento, propondo como solução do problema muros vazados com porosidade acima de 35%.

Em estudo visando avaliar os efeitos das modificações provenientes da autoconstrução em HIS, Oliveira (2009) concluiu que os elementos da autoconstrução, bem como os muros laterais impactaram negativamente nas trocas de ar da habitação. Dentre 150 unidades habitacionais avaliadas pela autora, apenas em nove houve a manutenção da ventilação natural com velocidades internas entre 0,01 a 0,13 m/s, cerca de 10% da velocidade do fluxo da área urbana em que essas estavam inseridas, comprovando o impacto negativo das modificações não planejadas na ventilação natural.

2.2.3 Simulação termoenergética de edificações e balanço térmico no ar

Um instrumento para analisar o consumo de energia em edificações e as variáveis que influencia em seu comportamento termoenergético é a simulação computacional. Com o uso da simulação pode-se trabalhar em estratégias como aumento do conforto térmico dos usuários, redução do consumo energético e melhoria da eficiência de sistemas, auxiliando nas tomadas de decisões projetuais (SILVA; ALMEIDA; GHISI, 2017).

A inserção de ferramentas de simulação computacional no processo de projeto e na avaliação do desempenho de uma edificação possibilita a concepção de edifícios mais eficientes (MEUSEL, 2016). Para Rodrigues e Pedrini (2016), projetar edificações com o auxílio de resultados de simulações computacionais permite corrigir inconsistências, buscando, por exemplo, soluções que permitam a redução de cargas térmicas. Segundo os autores, o uso de simulações termoenergéticas proporciona uma atuação mais precisa do projetista, principalmente nas fases iniciais de projeto de uma edificação, a fim de buscar melhorias que refinem o desempenho das edificações.

Um dos meios de avaliar os impactos de diferentes alterações sobre uma edificação, aplicado a partir dos resultados da simulação computacional, é o balanço térmico no ar. Uma das formas de se computar o balanço térmico no ar consiste na avaliação das trocas de calor que ocorrem por convecção no ambiente. Eli (2020) utilizou o balanço térmico no ar do APP como forma de avaliar o fluxo de calor nos ambientes de uma edificação residencial. O método aplicado foi baseado na pesquisa de Melo *et al.* (2015), que desenvolveram um

método de análise do balanço térmico no ar de edificações comerciais. No método do balanço térmico apresentado por Eli (2020) avaliam-se as trocas de calor por convecção que ocorrem no ambiente. Essas trocas de calor com o ambiente incluem os ganhos e perdas de calor por meio da ventilação natural, as cargas térmicas de resfriamento e aquecimento, além das trocas que ocorrem entre ar e as superfícies da envoltória. A autora afirma que, além de haver trocas convecção, também há trocas de calor por meio da condução e da radiação no ambiente. No entanto, avalia-se a convecção por ser a troca que ocorre entre os elementos da edificação e o ar que os circunda, e as trocas de calor por condução e radiação já estão englobadas no balanço térmico do ar do ambiente. Ainda, segundo a autora, o balanço térmico possibilita destacar superfícies ou ambientes cujo desempenho térmico pode ser aprimorado, através, por exemplo, da mudança de características térmicas das superfícies.

2.3 FUTURO DO CONSUMO ENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS BRASILEIRAS

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estima que o consumo energético em edificações residenciais brasileiras está dividido principalmente entre eletricidade, gás liquefeito de petróleo e lenha (EPE, 2020).

Considerando o consumo de energia elétrica nas edificações residenciais, têm-se, atualmente, como principais consumidores os refrigeradores e televisões (EPE, 2019). Anteriormente, protagonistas nesse consumo, os chuveiros elétricos, que representavam 24% do total (ELETROBRÁS, 2007), agora ocupam a terceira posição como equipamentos que mais consomem e devem, segundo a EPE, ser superados pelo consumo dos condicionadores de ar, que assumirão o posto de principal fonte de consumo até 2029 (EPE, 2019).

Mundialmente, o uso de energia para o resfriamento de ambientes cresce em taxas significativas quando comparados aos outros usos em edificações; esse uso mais que triplicou entre 1990 e 2016. O resfriamento é realizado principalmente com o uso de aparelhos elétricos como ventiladores e aparelhos condicionadores de ar. Destacam-se, principalmente, os aparelhos de ar condicionado, cujas vendas anuais em todo o mundo quase quadruplicaram desde 1990 (IEA, 2018)

Calcula-se que, entre 2005 e 2017, o número de aparelhos de ar condicionado em edificações residenciais brasileiras praticamente duplicou. Apesar do grande aumento de vendas no período, a quantidade de aparelhos por unidade habitacional no Brasil ainda é considerada baixa. A quantidade média de aparelhos na China e nos Estados Unidos é de 1 e 2 aparelhos, respectivamente, enquanto no Brasil esse valor é de apenas 0,4 (EPE, 2018).

Teixeira (2020), com base nos dados da Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos (PPH) (ELETROBRAS, 2019) e em simulações computacionais, estimou um consumo energético pelos aparelhos de ar condicionado menor que aquele apresentado pela EPE. Segundo o autor, a posse dos aparelhos também é menor que aquela apontada pela EPE, atingindo no máximo 0,4 na região Norte do país, mas com valores de 0,32 na região Sul, 0,22 no Sudeste, 0,2 no Centro Oeste e apenas 0,06 no Nordeste. Os resultados da pesquisa apontam que o percentual de consumo anual estimado para os sistemas de ar condicionado no Brasil é de 3,18% do total consumido por edificações habitacionais. Também no consumo de refrigeradores (22,48%), chuveiros (18,89%) e televisores (14,75%) foram constatados índices percentuais inferiores àqueles apresentados pela EPE.

Apesar da discrepância entre os valores encontrados por Teixeira (2020) e aqueles estimados pela EPE (2019), os números da PPH demonstram a baixa penetração dos sistemas de ar condicionados em edificações residenciais brasileiras, mostrando também que seu uso ainda é muito inferior à média de países desenvolvidos. Esses resultados corroboram os dados da Agência Internacional de Energia (IEA), que em seu documento “*The future of cooling*” (IEA, 2018), descreve que a baixa penetração, aliada às prováveis mudanças climáticas futuras e ao aumento do poder aquisitivo da população, poderá favorecer o aumento do uso de aparelhos de ar condicionado no Brasil.

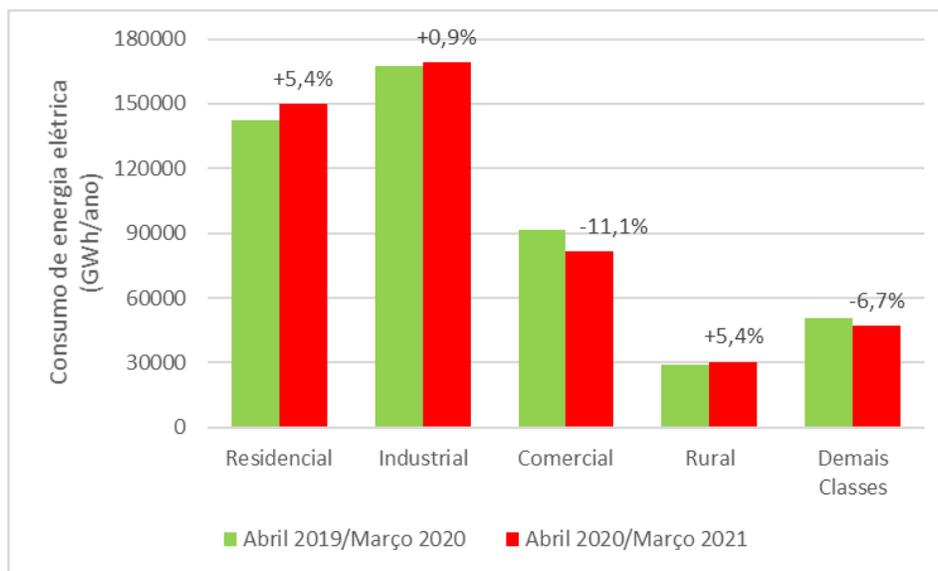
Os processos de modificações e autoconstrução em HIS também podem ser responsáveis por mudanças significativas nas trocas de ar da edificação com o meio externo, impactando, na maioria dos casos, de forma negativa nas temperaturas internas, resultando no aumento da necessidade de condicionamento ativo (OLIVEIRA, 2009; CASTAÑO, 2017). Assim, uma vez que pesquisas indicam uma predominância de edificações com modificações desde os primeiros momentos após a entrega (KM, 2020; JORGE *et al.*, 2017), nota-se que tais processos podem impactar negativamente no desempenho térmico de edificações e gerar importante aumento do uso de aparelhos de ar condicionado nessas edificações.

2.3.1 PANDEMIA E CRISE ENERGÉTICA

No fim de 2019 surgiram os primeiros casos da COVID-19, doença que teve rápida propagação no mundo, levando a Organização Mundial da Saúde (OMS) a decretar situação de pandemia em março de 2020 (AGENCIABRASIL, 2020).

A pandemia de COVID-19 também impactou no consumo energético nacional. O Ministério de Minas e Energia (MME) divulga mensalmente o boletim de monitoramento do Sistema Elétrico brasileiro. Na Figura 6, a partir de dados do MME (2020, 2021), são apresentadas as diferenças nos consumos energia elétrica no Brasil, por classe, comparando os períodos de abril de 2019 a março de 2020, quando ainda não havia influência da pandemia no consumo, com o período de abril de 2020 a março de 2021, já sob influência dos novos hábitos instituídos pela pandemia. Nota-se que o setor residencial teve crescimento de consumo na ordem de 5,4%, enquanto o setor comercial apresentou queda de 11,1%.

Figura 6 - Consumo de energia elétrica no Brasil, estratificação por classe



Fonte: Elaborada pelo autor a partir de dados do MME (2020, 2021)

Em 2019 o consumo médio per capita em um dos residenciais de HIS em Uberlândia foi de 32,96 kWh/mês, ante 59,11 kWh/mês da média da cidade (BORTOLI, 2020). Apesar de reduzidas em relação à média da cidade, existe uma elevada taxa de inadimplência de contas de energia elétrica nos CHIS de Uberlândia. Tal situação foi ainda mais agravada no

período pandêmico, quando, além das mudanças dos padrões de consumo de energia elétrica, houve aumento da inadimplência dos consumidores com as concessionárias de energia. Isso que motivou a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a publicar a Resolução 878/2020 (ANEEL, 2020a), proibindo o corte no fornecimento por atraso nos pagamentos, e posteriormente a regulamentar a conta COVID, através da Resolução 885/2020 (ANEEL, 2020b) proposta que possibilitou a diluição dos prejuízos e potenciais aumentos de tarifa ao longo de cinco anos.

Além das consequências da COVID sobre o consumo de eletricidade, o Brasil atravessa atualmente a pior crise hídrica desde 1930, fato que, aliado a volumes de água nos reservatórios das hidrelétricas menores que as médias históricas nos últimos sete anos, geraram pressão sobre o sistema elétrico nacional, levando à mudança do planejamento de geração elétrica, com o lançamento de iniciativas como a ativação de centrais termelétricas, com o aumento das tarifas energéticas, e a divulgação de campanhas para o uso consciente de água e energia (ONS, 2021). Dado o cenário atual do setor eletroenergético brasileiro, aliado ao crescimento do consumo das edificações residenciais, iniciativas voltadas à compreensão do comportamento térmico dessas são cada vez mais necessários, a fim de evitar um aumento exacerbado do consumo e seus eventuais impactos.

2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O REFERENCIAL TEÓRICO

As Avaliações Pós-Ocupação apresentadas na revisão de literatura indicaram, dentre outros problemas, frequentes queixas dos habitantes de HIS acerca da falta de espaço e demanda por elementos que tragam segurança às habitações. A partir dessas demandas, pesquisas apontaram que grande parte das edificações estudadas sofreram modificações, destacando-se a construção de muros, mais cômodos e garagem coberta. Tais pesquisas mostraram ainda que essas modificações impactaram, quase sempre, de maneira negativa nas trocas de ar e temperaturas internas das habitações, e esses prejuízos podem levar, inclusive, à redução do desempenho e do conforto térmico e ao aumento do uso de aparelhos de condicionamento artificial.

Aliado à presente situação do setor eletroenergético nacional, a compreensão dos efeitos das modificações pós-ocupação nas habitações, sobretudo no que diz respeito ao

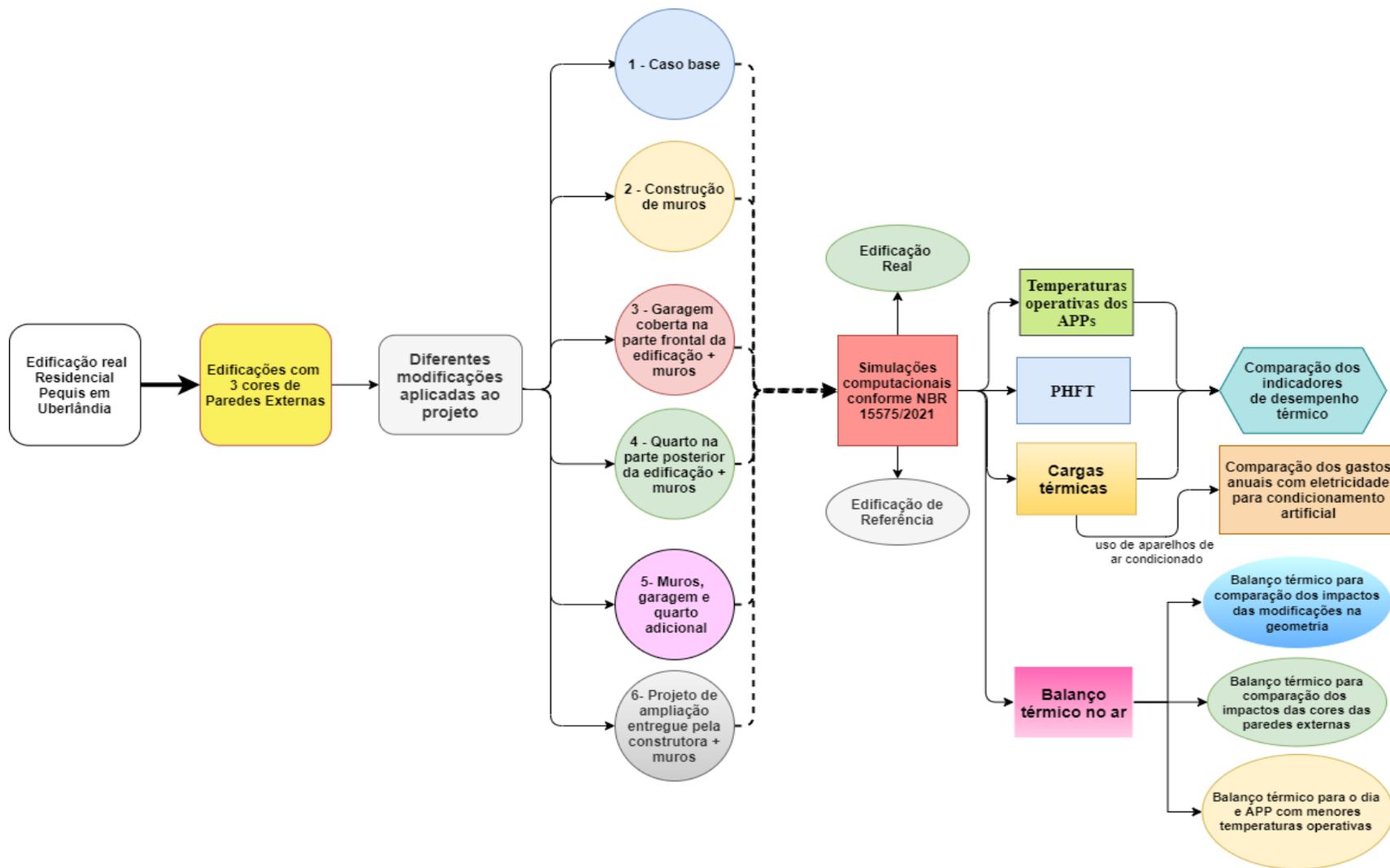
desempenho térmico e consumo de eletricidade, fazem-se cada vez mais necessários. Nesse contexto a aplicação da metodologia da NBR 15575-1 para avaliar o desempenho térmico e mensurar o consumo energético para condicionamento em diferentes cenários de modificação das HIS pode ser um instrumento para minimizar os impactos das mudanças conhecidamente executadas, a partir da demonstração considerações necessárias em projetos de futuras edificações.

3. MÉTODO

A metodologia deste trabalho é dividida em três partes. Na primeira parte foram descritas a habitação unifamiliar que é objeto deste estudo e as possíveis modificações que essa habitação pode sofrer (e cujos impactos no desempenho térmico e consumo energético foram avaliados). Na segunda parte foram descritos os detalhes utilizados na análise do desempenho térmico por meio da simulação computacional. Por fim, na terceira parte foi descrito o balanço térmico no ar utilizado para a comparação das modificações nas edificações, e os dados utilizados na comparação dos custos de operação relativos ao consumo de eletricidade das edificações. As análises propostas nas partes um a três estão representadas na Figura 7.

Cada uma das partes do método foi descrita separadamente nos itens deste capítulo, assim como outros elementos necessários às análises propostas.

Figura 7 - Fluxograma ilustrativo do método-



3.1 CARACTERIZAÇÃO DA HIS A SER ESTUDADA

A HIS objeto de estudo desta pesquisa é um modelo da edificação construída no Residencial Pequis, localizado na cidade de Uberlândia. A partir do caso base, edificação na condição entregue aos moradores, foram estudadas variações baseadas nas modificações realizadas pelos usuários em suas moradias. Para a escolha das modificações estudadas, duas análises foram realizadas: primeiramente consultou-se a literatura sobre o tema, levantando dados das alterações que aparecem com maior frequência nos estudos de APO relativos a HIS, e, para uma análise local e complementar, foram realizadas observações das habitações do Residencial Pequis através do *Google Earth* (GOOGLE EARTH, 2021), ferramenta que permite avaliar imagens de satélite e das fachadas do local escolhido.

A observação através do *Google Earth* permitiu que se corroborasse com aquilo que fora observado com na literatura, pois a principal modificação notada nas edificações foi a construção de muros. Os muros construídos no local são predominantemente em alvenaria de bloco cerâmico, mas, como elementos provisórios, também foram observados elementos de fechamento frontal em madeira e com materiais de reuso. Essas variações são ilustradas na Figura 8.

Figura 8 - Diferentes tipos de fechamento frontal nas edificações



Fonte: Google Earth (2021)

Através da observação de imagens do Residencial Pequis no *Google Earth* também foi possível notar elevada frequência da construção de varandas ou garagens na parte frontal, bem como cômodos adicionais na parte posterior das edificações. Algumas dessas modificações são destacadas na Figura 9. As edificações destacadas em vermelho têm a adição elementos construídos na parte frontal (garagem/varandas) e na parte posterior, que em geral são quartos. As edificações demarcadas em amarelo têm apenas varandas/garagens na parte frontal da edificação. Já a edificação marcada em verde tem a somente a adição de um cômodo na parte posterior do terreno, geralmente usado como quarto. Finalmente, a edificação destacada com contorno azul tem somente a adição de muros.

Figura 9 - Modificações em edificações observadas no Residencial Pequis



Fonte: Google Earth (2021)

Diante do levantamento realizado, foram descritas cinco variações de modificações a serem estudadas, partindo do caso base:

- A construção de muros ao redor da habitação;
- A construção de uma varanda ou garagem na parte frontal do terreno, mais a construção de muros;
- A construção de um quarto adicional na parte posterior da moradia, mais a construção de muros;
- A combinação com a construção da garagem e do quarto, mais a construção de muros;
- O projeto de ampliação apresentado pela construtora, em que uma nova sala é construída na porção frontal da edificação e o espaço da sala é transformado em quarto e corredor, mais a construção de muros.

A construção de muros, à exceção do caso base, foi considerada em todas as variações, uma vez que é a modificação mais observada, e precede todas as outras.

Além das modificações na geometria da edificação, notou-se, em observação via *Google Earth*, que as edificações do Residencial Pequis têm paredes externas com cores frequentemente variadas (os demais elementos, como cobertura e aberturas não apresentaram o mesmo padrão de variação frequente). As principais cores observadas nas paredes externas das edificações foram: branca, areia e verde. As absorptâncias à radiação solar adotadas para cada cor foram tomadas com base no Anexo Geral V dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética de Edificações (RAC) (INMETRO, 2013), sendo adotados valores de 0,3 para a cor branca, 0,45 para a cor areia e 0,64 para a cor verde. A variação de cores, ilustrada na Figura 10, faz parte de uma estratégia da construtora, para que desde a entrega haja uma variação das habitações, mas também, como indicado no referencial teórico, pode ocorrer a partir da vontade dos moradores pela individualização.

Figura 10 - Variação de cores das paredes externas



Fonte: Google Earth (2021)

No Residencial Pequis, as UH s têm as seguintes características construtivas: as paredes são de concreto armado moldadas in loco com 10 cm de espessura (com paredes internas na cor branca e paredes externas com cores variadas). A cobertura tem telhas cerâmicas do tipo colonial na cor marfim, em um telhado com 30% de inclinação, forro de PVC branco com 8 mm. O piso é composto por 8 cm de concreto e revestimento cerâmico com 7,5 mm. A edificação tem pé direito de 2,7 metros.

As janelas são de correr (com fator de ventilação 0,45) em duas folhas, construídas em alumínio e têm vidro simples, com venezianas também em alumínio nos quartos. Nas edificações reais estudadas, todas as janelas da casa, com exceção da janela do banheiro, têm 1,1 metros de peitoril. A janela da sala tem 1,8 m², a janela da cozinha tem 1 m², e as janelas dos quartos tem 1,5 m²; a janela do banheiro tem 0,6 m² e 1,8 m de peitoril. As janelas tem molduras em alumínio, e foram modeladas com o objeto do *EnergyPlus* “WindowProperty: FrameAndDivider”. As venezianas, em alumínio, foram modeladas com o objeto do *EnergyPlus* “WindowMaterial:Blind”, ativadas quando a temperatura do ar externo supera os 26°C, através do objeto “WindowShadingControl”.

As portas externas são de alumínio, pintadas na cor branca e com 50% de área de vidros, com vidros idênticos aos da janela; as portas internas são de madeira e todas as portas tem 2,1x0,88 m.

Os detalhes de cada elemento estão apresentados no Quadro 1. Para as variações a partir de um caso base, na condição real, todas as edificações terão as mesmas características construtivas dispostas nesse Quadro.

As habitações estudadas neste trabalho estão implantadas em um terreno com dimensões de 8x25 metros, com 7 metros de recuo frontal e 11 metros de recuo na parte posterior; além disso a habitação está posicionada na divisa oeste do terreno. Todas as edificações foram analisadas na mesma orientação.

Quanto aos beirais, tem-se 1,2 metros na orientação leste, e 0,5 metros nas orientações sul e norte. Na orientação oeste, onde é a divisa, não há beiral.

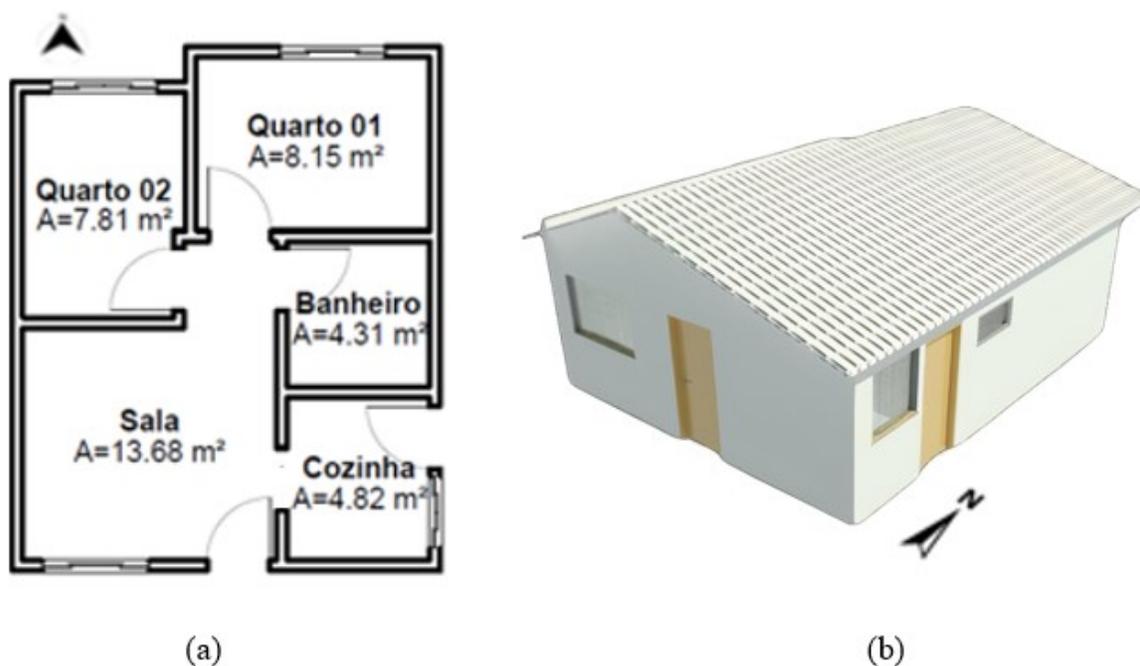
Quadro 1 - Dados dos materiais da envoltória da edificação

Elemento	Material	Descrição	Absortância à radiação solar	Transmitância térmica (W/m ² . K)	Fator solar do vidro
Paredes	Concreto maciço	Paredes de concreto - 10 cm de espessura	0,3/0,45/0,64	4,4	-
Telhas	Cerâmica	Telha cerâmica tipo colonial, 1 cm de espessura, cor areia	0,45	1,75	-
Forro	PVC	Forro PVC branco - 8 mm	0,3		-
Janelas	Alumínio e vidro simples 3mm	Janela de correr da sala (1,8 x 1,0 m)	0,3 (molduras)	5,7	0,87
	Alumínio e vidro simples 3 mm, com 2 venezianas e 1 vidro	Janelas de correr dos quartos (1,5 x 1,1 m)	0,3 (molduras e venezianas)	5,7	0,87
	Alumínio e vidro simples 3 mm	Janela de correr da cozinha (1,0 x 1,0 m)	0,3 (molduras)	5,7	0,87
	Alumínio e vidro simples 3 mm	Janela basculante do banheiro	0,3 (molduras)	5,7	0,87
Piso	Radier em concreto com cerâmica clara	Piso cerâmico 7,5 mm sobre radier em concreto com 8 cm	0,4	3,5	-

3.1.1 Caso base

A HIS construída e entregue em 2016 aos moradores do Residencial Pequis é composta por sala e cozinha separadas por uma parede, mas sem porta, dois dormitórios e um banheiro, totalizando 39 m² de área construída. Para a análise de desempenho térmico, como sala e a cozinha não são separadas por uma porta, elas foram consideradas como um único ambiente, com especificações iguais à da sala, conforme previsto na NBR 15575-1. A Figura 11 ilustra a planta baixa e uma perspectiva dessa edificação. O caso base foi identificado nas análises como “CB”.

Figura 11 - HIS construída no Residencial Pequis em Uberlândia-MG: (a) planta baixa e (b) vista leste e sul do CB



3.1.2 Modificação 1: Construção de muros

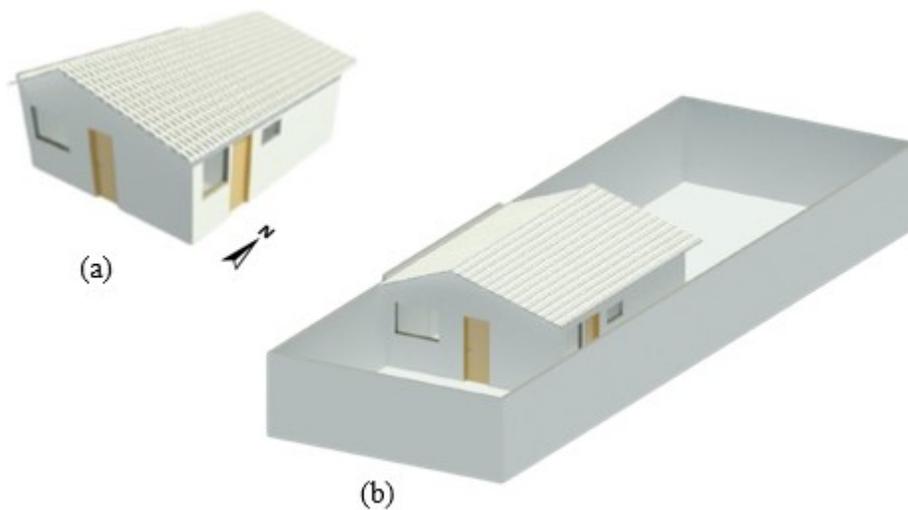
Como é possível constatar na Figura 12, não há um padrão na altura dos muros construídos no Residencial Pequis. Por isso, neste estudo, optou-se pela adoção de uma altura padrão de três metros, altura superior ao pé direito da edificação e suficiente para cobrir a visão externa de todas as aberturas (portas e janelas), garantindo privacidade aos moradores.

Figura 12 - Falta de uniformidade na altura de muros



A edificação com a implantação dos muros foi chamada de “CB+Muros”. Para os muros, em todos os casos em que houve sua inserção, foi considerada a composição de blocos cerâmicos de seis furos, reboco de 2 cm em ambos os lados e absorvância à radiação solar de 0,4. A disposição dos muros e da edificação no terreno é ilustrada na Figura 13.

Figura 13 - Edificação com a implantação de muros: (a) caso base e (b) modificação 1



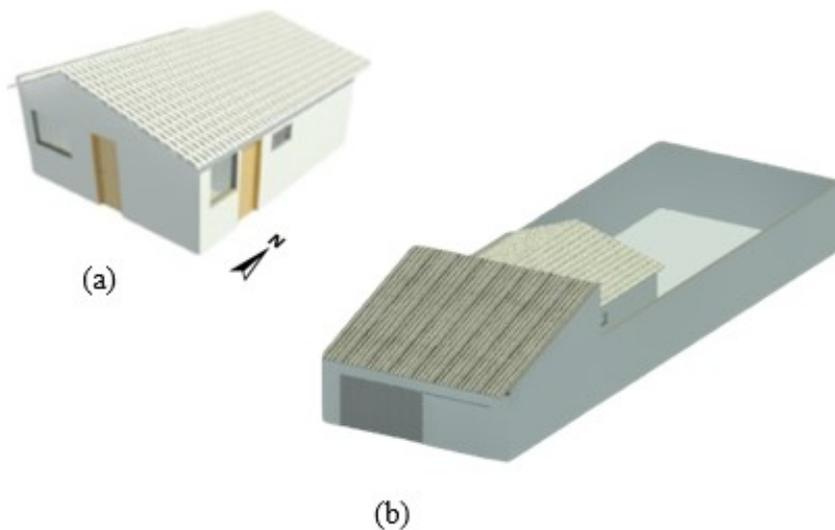
3.1.3 Modificação 2: Construção de uma varanda/garagem

A varanda/garagem ocupa, em geral, todo o espaço do recuo frontal da edificação, com medidas de 8 metros de largura e 7 metros de comprimento, totalizando 56 m². Conforme as características observadas via *Google Earth*, a cobertura desse espaço foi considerada com telhas de fibrocimento. Foram adotadas telhas de 6 mm e sem forro, com transmitância térmica de 4,6 W/(m².K) e absorvância à radiação solar de 0,65. Foi considerado um portão

em alumínio de 3x3 metros na entrada, pintado na cor branca, e uma porta de 2,1x0,88m, considerada sempre aberta, ligando a garagem e o recuo lateral a leste do terreno.

Como apontado por Chaves (2020), notou-se que todas as modificações nas HIS do Residencial Pequis foram precedidas pela construção de muros. Assim, nesta variação, chamada de “CB+Muros+GAR” foi investigado o impacto da construção da varanda sobre o desempenho térmico, mas além da varanda, também houve a inserção dos muros, conforme a Figura 14. A garagem adicionada nessa modificação não é considerada como um APP, e, portanto, não é um ambiente onde há consideração de condicionamento artificial.

Figura 14 - Varanda frontal na edificação: (a) caso base e (b) modificação 2

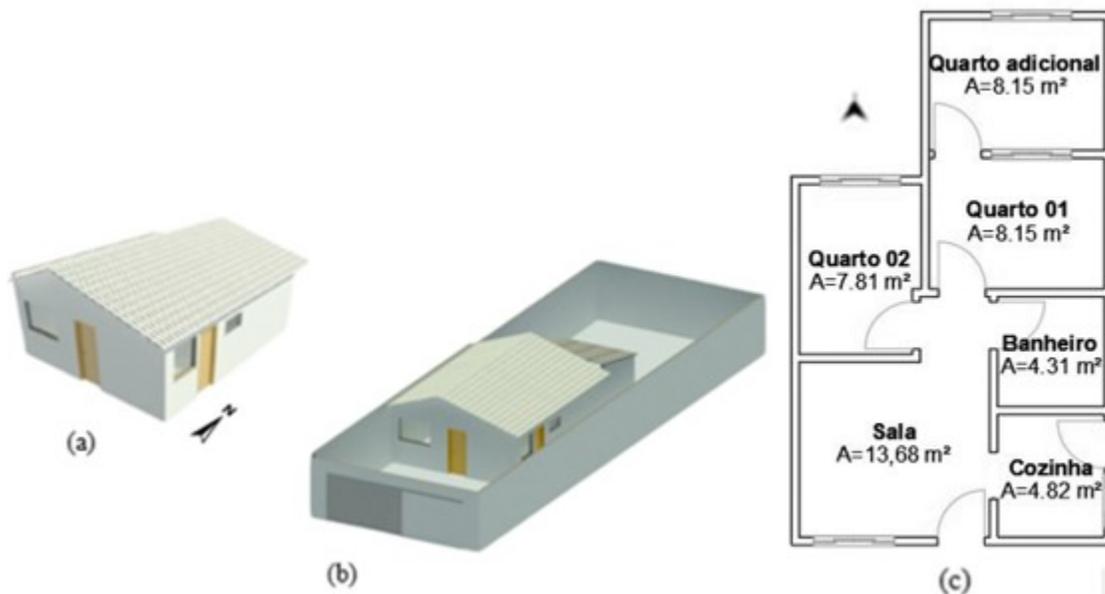


3.1.4 Modificação 3: Construção de um quarto adicional

A terceira modificação analisada neste trabalho foi a construção de um quarto adicional na parte posterior da edificação. Conforme descrito por Chaves (2020) e baseado nas observações das fotos de satélite, no Residencial Pequis é comum perceber a utilização da parte frontal das edificações como garagem e também como cômodo comercial, com quartos na parte posterior da edificação. Assim sendo, neste caso, chamado de “CB+Muros+1Q”, foi analisado o impacto da construção de um quarto adicionado à parte posterior da edificação, combinado com a adição de muros. Esse quarto foi considerado com

o mesmo tamanho do “Quarto 01” (8,15 m²). No quarto adicional as paredes foram consideradas em blocos cerâmicos de seis furos, reboco de 2 cm em ambos os lados, forro de PVC e com absorvências à radiação solar e cobertura iguais às daquelas do restante da edificação. A disposição do quarto adicional é ilustrada na Figura 15. Ressalta-se que, neste caso, a janela do “Quarto 01” não pode ser reposicionada, já que na edificação, construída com paredes de concreto autoportantes, não é possível quebrar paredes, uma vez que essa alteração não foi prevista em projeto, e por isso todas as paredes cumprem função estrutural.

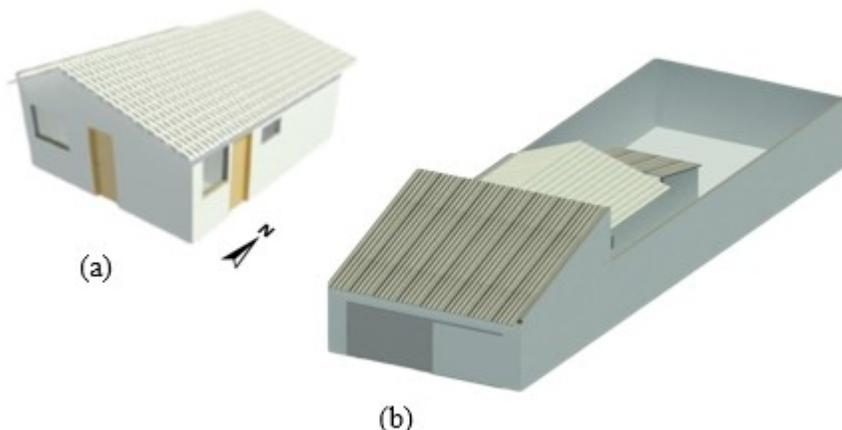
Figura 15 - Disposição do quarto adicional: (a) caso base, (b) modificação 3 e (c) planta baixa com o quarto adicional



3.1.5 Modificação 4: Combinação de modificações

A quarta variação estudada foi chamada de “CB+Muros+GAR+1Q”. Nela foi analisado o impacto de todas as modificações descritas nos casos anteriores e de forma combinada, ou seja, foram adicionados muros, uma varanda frontal, e um quarto na parte posterior da edificação, conforme ilustra a Figura 16. Como na modificação 2, garagem adicionada nessa modificação não é considerada como um APP, e, portanto, não é um ambiente onde há consideração de condicionamento artificial.

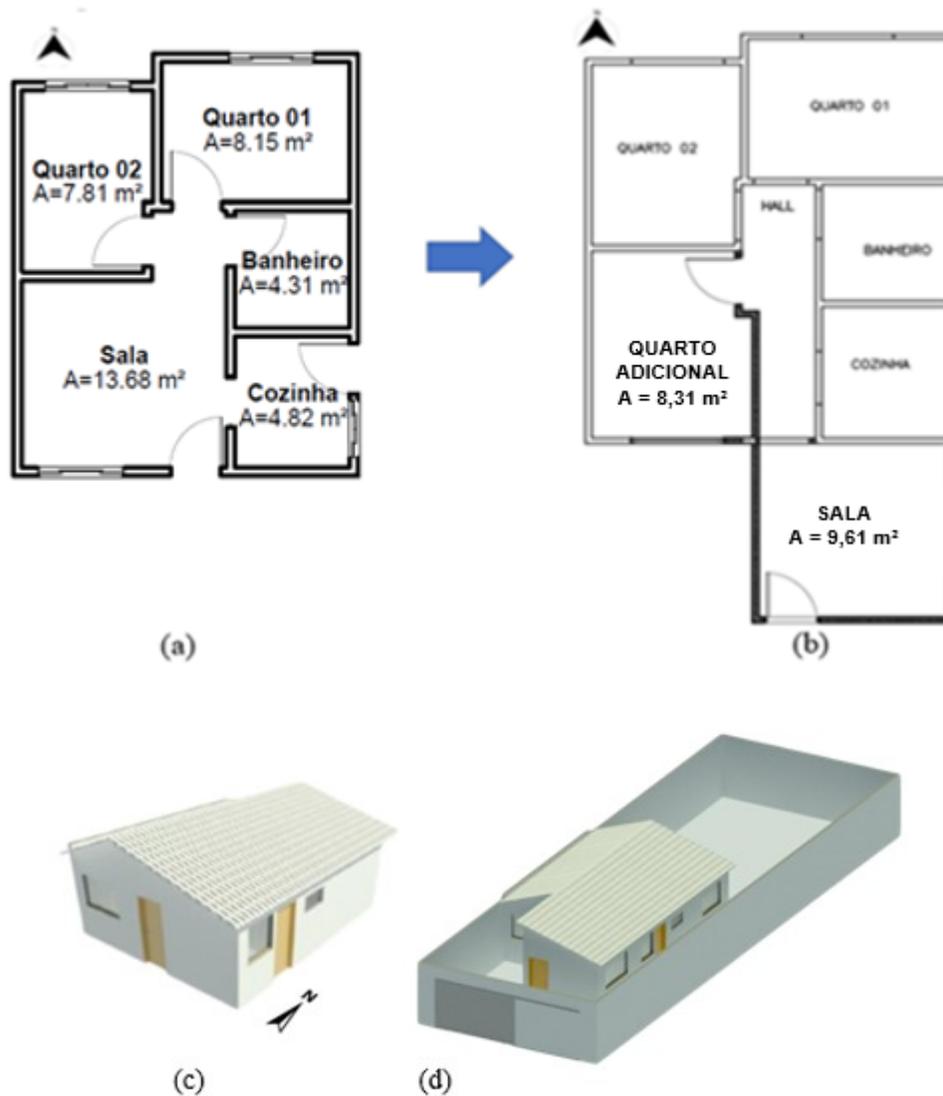
Figura 16 - Combinação de modificações: (a) caso base e (b) modificação 4



3.1.6 Modificação 5: Projeto de ampliação proposto pela construtora

Além das modificações realizadas pelos usuários, também foi analisado o impacto no desempenho térmico decorrido da ampliação prevista pela construtora do empreendimento Residencial Pequis em Uberlândia. Este projeto de ampliação é fornecido aos moradores do empreendimento na entrega das UHs, e propõe a adição de um novo cômodo à porção frontal do terreno. Segundo a ampliação prevista, o espaço adicionado seria usado como sala, e o espaço anteriormente destinado à sala seria adaptado para o uso como quarto, a partir da construção de um corredor ligando a nova sala e os quartos. Na Figura 17 as mudanças previstas são comparadas ao projeto original; nela, as paredes hachuradas são aquelas que devem ser construídas ou modificadas. No projeto de ampliação as paredes foram consideradas em blocos cerâmicos de seis furos, reboco de 2 cm em ambos os lados e absorvência à radiação solar das paredes iguais àquelas do CB. Também a cobertura, o forro, as portas e as janelas foram consideradas idênticos àqueles da habitação originalmente entregue. Esta variação das modificações foi chamada “CB+Muros+1Q_CNST”, e, além do espaço adicional, foram também considerados os muros. Ressalta-se que, nessa ampliação, a área total da sala proposta é de 9,6 m², menor que a área da sala da edificação originalmente construída, que era de 13,68 m² (ou 18,5 m² somando a área da cozinha).

Figura 17 – Comparação de projetos: (a) planta baixa original, (b) projeto de ampliação proposto pela construtora, (c) caso base e (d) modificação 5



3.1.7 Edificações de referência

As edificações descritas nas modificações 1 a 5 são consideradas, para este estudo, e conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2021), como modelos reais. Um modelo real é definido, pela referida norma, como um modelo que representa a edificação avaliada em uma simulação computacional termoenergética, com a conservação das características geométricas, composições construtivas e propriedades térmicas.

Para que seja calculado o nível de desempenho térmico de cada uma das edificações (caso base e edificações com modificações), deve haver uma comparação dos modelos das edificações reais com os seus respectivos modelos nas condições de referência. Os modelos reais têm a mesma forma e condições de entorno, ocupação e cargas internas dos modelos das edificações de referência. No modelo de referência, no entanto, são fixados os materiais de envoltória da UH e as características das aberturas dos APP.

Conforme preconiza a NBR 15575-1 (ABNT, 2021), paredes e pisos do modelo de referência devem ser considerados como elementos de vedação com 100 mm de espessura, condutividade térmica de 1,75 W/(m.K), calor específico de 1.000 J/(kg.K) e densidade de 2.200 kg/m². A absorvância à radiação solar das paredes externas deve ser de 0,58 e de paredes internas e piso iguais às absorvâncias à radiação solar do modelo real. A cobertura, para a cidade de Uberlândia, localizada na Zona Bioclimática 4, é composta por telhas de 6 mm de espessura, com condutividade térmica de 0,65 W/(m.K), calor específico de 840 J/(kg.K) e densidade de 1.700 kg/m², combinadas com uma laje de 100 mm de espessura, com condutividade térmica de 1,75 W/(m.K), calor específico de 1.000 J/(kg.K) e densidade de 2.200 kg/m². O valor de absorvância à radiação solar das telhas é de 0,65 e o da laje é igual ao modelo real.

Quanto às aberturas, no modelo de referência são fixados o percentual de elementos transparentes na envoltória do APP (percentual obtido pela razão entre a área dos elementos transparentes do APP e sua área de piso), e o percentual de abertura para ventilação, (percentual obtido pela razão da área efetiva para ventilação do APP e sua área de piso). O valor fixado para o percentual de elementos transparentes do modelo de referência é de 17% e o percentual de abertura para ventilação é de 7,65%.

3.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Neste trabalho foi aplicada a avaliação do desempenho térmico por meio da simulação computacional, tendo em vista a metodologia da NBR 15575-1 (ABNT, 2021), conforme descrito no item 2.2.1.

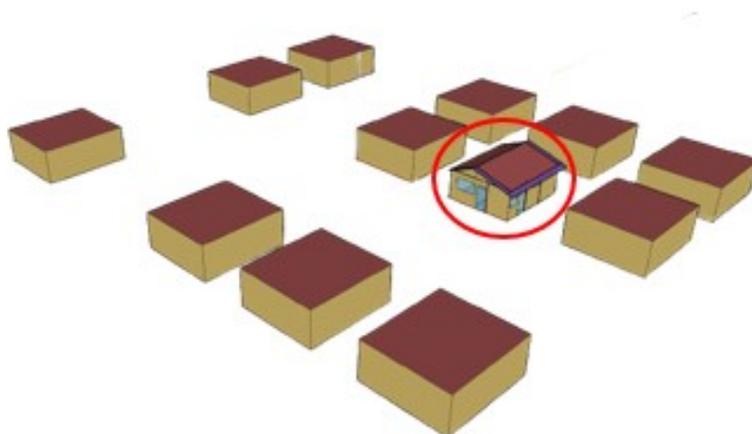
O programa de simulação computacional utilizado para a simulação da edificação foi o *EnergyPlus*, em sua versão 9.5. Esse programa atende os requisitos exigidos pela NBR 15575-1, tais como calcular as variações de temperatura operativa, cargas térmicas e ventilação natural.

Para as principais análises de simulação computacional foi considerado o arquivo climático no formato TMYx 2004-2018, para a cidade de Uberlândia, disponibilizado por ClimateOneBuilding (2021). Para fins de comparação e conforme exigência da NBR 15575-2021, também foram realizadas simulações com arquivos INMET para a cidade de Uberlândia, disponíveis em ClimateOneBuilding (2021).

Como as edificações estudadas são térreas, foi considerado o contato da edificação com o solo. Segundo Eli *et al.* (2019a, 2019b), no programa computacional *EnergyPlus* o contato com o solo pode ser simulado de formas distintas, com diferentes demandas de processamento computacional e com diferentes níveis de detalhamento. Para este trabalho optou-se pelo uso do *Finite Difference*, do objeto *Ground Domain*.

Sabe-se que as condições do entorno e a forma da edificação interferem em parâmetros relativos à ventilação natural. Também a NBR 15575-1 (ABNT, 2021) prevê a consideração do entorno da edificação nas simulações de desempenho térmico. Neste estudo, a edificação foi inserida em uma posição intermediária no quarteirão, visto que terrenos de esquina têm dimensões maiores que os demais e são minoria no conjunto habitacional Residencial Pequis. Este entorno, conforme previsto na norma, foi considerado para as edificações reais e de referência. A inserção citada é ilustrada na Figura 18.

Figura 18 - Ilustração do entorno da edificação, com destaque para a edificação estudada



Para a simulação da ventilação natural foi utilizado o objeto *Airflow Network*, presente no programa computacional *EnergyPlus*. Apesar de haver a possibilidade de uma estimativa dos coeficientes de pressão (CPS) dentro do próprio programa de simulação, optou-se em adotar a ferramenta de simulação CpSimulator, para o cálculo dos CPS. O CpSimulator é uma ferramenta baseada em Fluidodinâmica computacional (CFD) que permite, a partir de um arquivo com a forma da edificação, a saída dos dados de CPS necessários à simulação termo energética (CPSIMULATOR, 2020). O uso da ferramenta se dá pelo envio, por meio de uma plataforma *online*, dos arquivos com os modelos de simulação termoenergética, chamados de IDF (EnergyPlus Input Files). Esses arquivos são processados em um software de fluidodinâmica computacional, e retornados já com os valores de CPS corridos para a forma e entorno da edificação.

Para a análise comparativa das soluções foram utilizados os três indicadores de desempenho descritos na NBR 15575-1 (ABNT, 2021): cargas térmicas (de aquecimento e resfriamento), PHFT, e temperaturas operativas (máximas e mínimas). Para o cálculo desses indicadores é preciso simular os modelos geométricos (CB e modificações de 1 a 5, em suas condições real e de referência) descritos com e sem o uso de ventilação natural (ou seja, ventilado naturalmente e com o uso de condicionamento artificial), e posteriormente analisar as condições de temperatura e ocupação. Para a referida análise foi implementada uma rotina em Python, onde foram verificadas as condições de ocupação e as temperaturas operativas internas dos APPs, contabilizando ou não cargas térmicas e horas fora dos limites de temperatura operativa. O modelo em Python também foi validado utilizando a ferramenta Microsoft Excel®. Para fins de comparações mais detalhadas, as cargas térmicas foram mensuradas por APP, e separadas em cargas de aquecimento e resfriamento.

3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Além da avaliação do desempenho térmico, a partir dos resultados das simulações computacionais, foi realizado o balanço térmico no ar do APP sala, buscando compreender as mudanças nas trocas de calor por meio da envoltória. Também, para demonstrar o impacto financeiro de possíveis aumentos de carga térmica, foram calculados os custos de eletricidade para condicionamento artificial das edificações.

A avaliação dos resultados das simulações foi descrita conforme os resultados obtidos com arquivo climático do tipo TMYx. Os resultados das simulações com o arquivo climático do tipo INMET foram apresentados em tópico separado.

3.3.1 Balanço térmico no ar

A fim de avaliar como cada modificação impacta nos fluxos de calor da envoltória, foi aplicado o método do balanço térmico no ar por convecção. O método aplicado foi baseado no trabalho de Eli (2020), descrito no item 2.2.3 deste trabalho. Na versão 9.5 do *EnergyPlus*, no entanto, as saídas relativas à ventilação natural são distintas daquelas apresentadas pela autora, que utilizou o programa na versão 9.0. Os dados de saídas do *EnergyPlus* usadas no balanço térmico foram resumidos no Quadro 2.

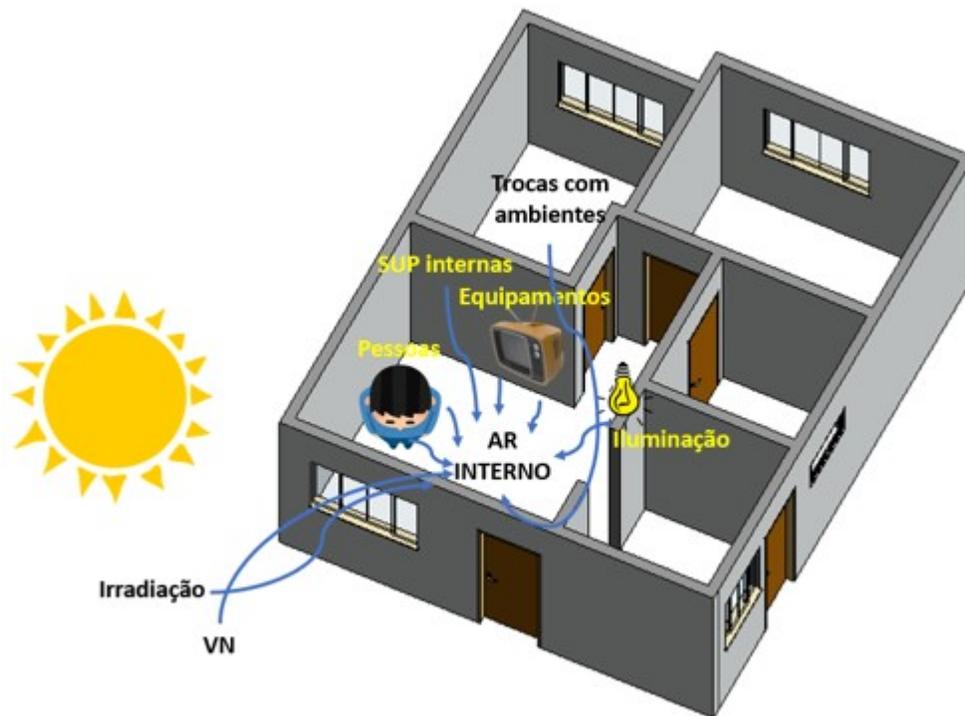
Quadro 2 - Dados de saída do programa *EnergyPlus* para cálculo do balanço térmico.

Dado de saída	Nomenclatura	Significado
<i>Surface Inside Face Convection Heat Gain Energy</i>	Superfícies	É o calor que o ambiente ganha ou perde devido à convecção que ocorre em cada superfície da envoltória.
<i>Zone Total Internal Convective Heating Energy</i>	Cargas Internas	São os ganhos de calor por convecção devido às cargas internas (iluminação, equipamentos e pessoas).
<i>AFN Zone Ventilation Sensible Heat Gain Energy</i>	Ganhos por Ventilação Natural	É o calor sensível que o ambiente analisado ganha devido à ventilação natural.
<i>AFN Zone Ventilation Sensible Heat Loss Energy</i>	Perdas por Ventilação Natural	É o calor sensível que o ambiente analisado perde devido à ventilação natural.
<i>AFN Zone Mixing Sensible Heat Gain Energy</i>	Ganhos por trocas de ar entre ambientes da UH	É o calor sensível que o ambiente analisado ganha devido às trocas de ar com ambientes da UH.
<i>AFN Zone Mixing Sensible Heat Loss Energy</i>	Perdas por trocas de ar entre ambientes da UH	É o calor sensível que o ambiente analisado perde devido às trocas de ar com ambientes da UH.
<i>Zone Air System Sensible Heating Energy</i>	Aquecimento	É a carga térmica adicionada no ambiente, para satisfazer o limite de temperatura estipulado no termostato (21°C).
<i>Zone Air System Sensible Cooling Energy</i>	Refrigeração	É a carga térmica retirada do ambiente, para satisfazer o limite de temperatura estipulado no termostato (23°C).

Fonte: Adaptado de Eli (2020)

Uma ilustração esquemática do balanço térmico no ar por convecção é apresentada na Figura 19.

Figura 19 - Ilustração do balanço térmico no ar



Os balanços térmicos, como as simulações, foram realizados separadamente para as edificações ventiladas naturalmente e condicionadas artificialmente. Nas simulações de ventilação natural as cargas térmicas de resfriamento de aquecimento são sempre iguais a zero.

Inicialmente foi aplicado o balanço térmico no ar para o APP sala, para as edificações com paredes externas na cor areia, que tem valor intermediário de absorvância à radiação solar dentre as cores analisadas, contrastando os impactos das modificações geométricas e comparando os ganhos e perdas de calor nesse APP em cada modificação. O balanço térmico da sala foi escolhido pois, nas análises preliminares, esse foi o APP com maior impacto nas cargas térmicas e PHFT da UH.

A partir da aplicação do método do balanço térmico no ar, também foram comparados os APP sala dos casos base com adição de muros (CB+Muros) com paredes externas nas cores verde, areia e branca. Nessa comparação buscou-se compreender as diferenças nos ganhos e perdas de calor provocados pela alteração da cor das paredes externas sobre o APP analisado. Essa modificação foi escolhida por apresentar três níveis de desempenho térmico

distintos conforme as cores, e por não ter adição de outros ambientes em relação ao caso base.

A terceira análise realizada por meio do balanço térmico no ar por convecção foi aplicada no APP Quarto 1, para investigar as perdas de calor no dia mais frio do ano nesse APP. No balanço térmico do APP “Quarto 1” foi comparado o caso “CB+Muros” na condição de referência (REF_CB+Muros) com sua condição real com paredes externas brancas (branco_CB+Muros). Esse balanço térmico foi realizado para o dia 26 de julho do arquivo climático, e no “Quarto 1”, pois as menores temperaturas operativas da UH ocorreram nesse APP e naquele dia do ano nos dois casos descritos.

3.3.2 Comparativo dos custos de eletricidade para condicionamento

O projeto de uma HIS deve prezar, dentre outros fatores, pelo baixo custo de operação da edificação. As modificações descritas anteriormente podem impactar negativamente nas temperaturas internas das edificações, ao ponto de gerar aumento das cargas térmicas e, conseqüentemente, levar ao aumento do consumo de energia por aparelhos de ar condicionado. Assim, foram analisadas as diferenças dos custos anuais relativos ao consumo de eletricidade utilizada no condicionamento dos casos estudados.

Para que as cargas térmicas obtidas a partir das análises descritas anteriormente sejam transformadas em consumo energético, foi utilizado o coeficiente de eficiência energética (CEE) para refrigeração e aquecimento do sistema de condicionamento de ar. O consumo energético foi obtido pela divisão dos resultados de carga térmica pelo CEE. Neste estudo foi considerado o aparelho do tipo *split hi-wall* com classificação de eficiência energética C, para resfriamento e aquecimento, com CEE igual a 2,6, tanto para refrigeração quanto para aquecimento. Essa escolha justifica-se pela ocupação superior a cinco anos das edificações, e pelo fato de aparelhos de menor eficiência serem, em geral, mais acessíveis.

A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) é a responsável pelo fornecimento de eletricidade na cidade de Uberlândia. Para a avaliação do custo do consumo energético das edificações com modificações, a tarifa considerada foi do agrupamento B1, com a bandeira vermelha 3, chamada de bandeira de escassez hídrica. Como são HIS, optou-se pela tarifa com subsídios à baixa renda, para consumos mensais entre 101 e 220 kWh. Essa

faixa de consumo foi escolhida com base no consumo per capita de 39,62 kWh/mês de um CHIS de Uberlândia, e contando uma ocupação média de quatro pessoas. Assim, o valor adotado para a tarifa de eletricidade, por kWh, foi o do mês de setembro de 2021, que, considerando todos os impostos e taxas, foi de R\$0,98 (CEMIG, 2021). Para cada um dos casos apresentados no item 3.1, os custos estimados (e comparados) foram anuais e sem quaisquer correções monetárias.

4. RESULTADOS

Conforme descrito no item 3.1, as modificações aplicadas à edificação foram nomeadas a partir do caso base. As nomenclaturas adotadas estão resumidas no Quadro 3. Além dos nomes das modificações, os resultados também estão acompanhados do nome da cor das paredes externas das edificações.

Quadro 3 – Resumo das nomenclaturas das modificações estudadas

Nome	Modificação
CB	Caso base
CB+Muros	Adição de muros ao caso base
CB+Muros+GAR	Adição de garagem e muros
CB+Muros+1Q	Quarto adicional na parte posterior e muros
CB+Muros+GAR+1Q	Quarto adicional na parte posterior, garagem e muros
CB+Muros+1Q_CNST	Projeto de ampliação proposto pela construtora e muros

4.1 ANÁLISE DOS INDICADORES DE DESEMPENHO

4.1.1 Cargas térmicas

Em cada uma das seis variações de geometria descritas no item 3.1 foram consideradas três variações de cores para as paredes externas, totalizando 18 edificações. Essas modificações e os resultados de suas respectivas cargas térmicas anuais (CgTT) são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Cargas térmicas das modificações geométricas: resultados e comparação por cor de parede externa

Modificação	CgTT (kWh/ano)
verde_CB	2.853
verde_CB+Muros	3.028
verde_CB+Muros+GAR	3.116
verde_CB+Muros+1Q	3.154
verde_CB+Muros+GAR+1Q	3.249
verde_CB+Muros+1Q_CNST	2.266
areia_CB	2.311
areia_CB+Muros	2.326
areia_CB+Muros+GAR	2.420
areia_CB+Muros+1Q	2.420
areia_CB+Muros+GAR+1Q	2.521
areia_CB+Muros+1Q_CNST	1.816
branco_CB	2.098
branco_CB+Muros	2.054
branco_CB+Muros+GAR	2.138
branco_CB+Muros+1Q	2.141
branco_CB+Muros+GAR+1Q	2.219
branco_CB+Muros+1Q_CNST	1.638

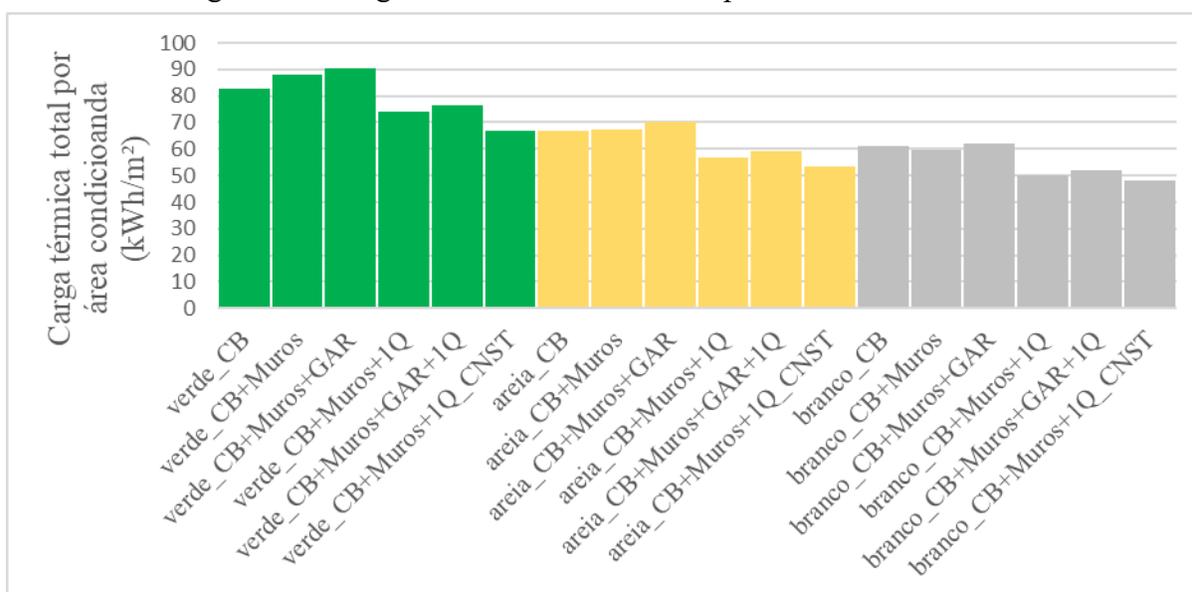
Os resultados apresentados indicam que houve redução da carga térmica total para da proposta de ampliação da construtora para todas as cores de parede externa, com reduções médias de 21%, além da redução de 2% para o caso com adição de muros em relação ao caso base com paredes externas brancas. Nos demais casos houve aumento das cargas térmicas em relação ao caso base de mesma cor de parede externa, com variações conforme sua cor.

Mesmo que os valores absolutos descritos na Tabela 3 sejam diferentes do caso base, é preciso considerar que em alguns casos houve mudança de área condicionada. Na Tabela 4 são indicadas as áreas condicionadas de cada variação e, na Figura 20, são apresentados os valores de carga térmica anual por m² de área condicionada.

Tabela 4 - Área condicionada de cada variação

Modificação	Área condicionada sala (m ²)	Área condicionada dormitórios (m ²)	Área condicionada UH (m ²)
CB	18,5	15,96	34,46
CB+Muros	18,5	15,96	34,46
CB+Muros+GAR	18,5	15,96	34,46
CB+Muros+1Q	18,5	24,11	42,61
CB+Muros+GAR+1Q	18,5	24,11	42,61
CB+Muros+1Q_CNST	9,61	24,26	33,87

Figura 20 - Cargas térmicas anuais da UH por área condicionada



O caso com adição de muros (CB+Muros), comparado com o caso base (CB) com a mesma cor de parede externa, provoca aumento de cargas térmicas por m² para edificações com paredes externas na cor verde (acréscimo de 6%) e areia (1%) e redução para aquelas com paredes externas na cor branca (redução de 2%). Com a variação das cores das paredes externas das edificações, há diferença nas trocas de calor dessas essas superfícies com o meio externo para cada cor, o que, combinado com o impacto de sombreamento e mudanças nos fluxos de ventilação causados pelos muros, podem gerar tais aumentos ou reduções nas cargas térmicas.

Para a UH, em relação ao caso base, além dos casos com adição de muros, houve aumento das cargas térmicas por área condicionada somente nas variações com garagem (CB+Muros+GAR). A adição das garagens na parte frontal da edificação impacta não só na

ventilação natural, já que altera o fluxo de ventilação da janela da sala, como altera as trocas de calor por meio das superfícies da sala e da cozinha que tem contato com a garagem (e, sem essa garagem, eram expostas ao exterior), além de gerar sombreamento na janela da sala. O aumento nas cargas térmicas, em relação aos casos base de mesma cor de parede externa, foi de 9% no caso “verde_CB+Muros+GAR”, 5% para o caso “areia_CB+Muros+GAR” e 2% para “branco_CB+Muros+GAR”.

Apesar do aumento de 23% na área condicionada em relação ao CB, o aumento nas cargas térmicas totais da UH foram de 11% em “verde_CB+Muros+1Q”, 5% para “areia_CB+Muros+1Q” e 2% para “branco_CB+Muros+1Q”. Assim, em termos de cargas térmica por área condicionada, houve redução de 10,6% para essas edificações com paredes externas na cor verde, 15% para a cor areia e 17% para a cor branca das paredes externas.

Nas variações com garagem e quarto (CB+Muros+GAR+1Q), as reduções por área condicionada são menores que nos casos “CB+Muros+1Q”. Isso ocorre porque as garagens são elementos não condicionados, mas que geram aumento de carga térmica.

Dentre as modificações de mesma cor, a ampliação proposta pela construtora (CB+Muros+1Q_CNST) resulta nas menores cargas térmicas por metro quadrado. Comparadas com CB, houve redução de 19% para a variação “verde_CB+Muros+1Q_CNST”, -20% para a variação “areia_CB+Muros+1Q_CNST” e -21% para a variação “branco_CB+Muros+1Q_CNST”.

Nessa proposta de ampliação da construtora, além da adição dos quartos, há mudança na área da sala, e por isso, em reação ao CB, há alteração na proporção total de carga térmica oriunda da sala ou dos quartos. As cargas térmicas são predominantes são as de resfriamento da sala, e, com a redução da área da sala, houve redução das cargas térmicas desse APP.

Apesar das modificações na geometria, sobressaem-se as diferenças nas cargas térmicas resultantes da mudança da cor das paredes externas. Os casos com paredes externas verdes apresentam sempre as maiores cargas térmicas. A título de exemplo, o CB com paredes externas verdes (verde_CB) tem carga térmica 22% maiores que o caso “branco_CB+Muros+GAR+1Q”, aquele de maior carga térmica dentre as variações com paredes externas na cor branca. Entre os casos base, a alteração da cor das paredes externas de branco (branco_CB) para verde (verde_CB) gera aumento de carga térmica de 36%,

enquanto o aumento de carga térmica do caso “branco_CB+Muros+GAR+1Q”, em relação ao caso base de mesma cor de paredes externas (branco_CB), é de apenas 5%.

É notório o impacto das cores das paredes externas nas cargas térmicas das edificações. A absorção à radiação solar impacta de maneira significativa nas cargas térmicas, o que acaba favorecendo, no caso de climas com predominância de cargas térmicas de resfriamento, as cores mais claras. Tal fato deve ser tomado em conta de maneira importante, pois, sobretudo em habitações mínimas, pode haver uma quase obrigatoriedade do uso de cores claras para que se alcance melhores resultados de cargas térmicas.

Também as salas, por terem ocupação predominante durante o período diurno, aquele com as maiores temperaturas diárias, tendem a ter maiores cargas térmicas. Assim, na análise concepção das habitações o correto dimensionamento desses cômodos, é primordial na redução das cargas térmicas totais da habitação.

4.1.1.1 Comparação das cargas térmicas por APP

A Tabela 5 apresenta um resumo de todos os resultados de cargas térmicas, separadas em aquecimento e resfriamento, por APP. Na Tabela 6 os valores de carga para resfriamento e aquecimento são apresentados por m². As cargas térmicas computadas para as variações analisadas foram predominantemente de resfriamento, e, no montante total de cada edificação, as cargas térmicas da sala são maiores que a soma das cargas térmicas dos quartos.

Tabela 5 - Cargas térmicas de aquecimento e resfriamento, por APP

Modificação	Quarto 01		Quarto 02		Quarto adicional		Sala	
	Carga aquecimento (kWh)	Carga resfriamento (kWh)						
verde CB	11,75	108,72	10,03	111,43	-	-	2,39	2.609,59
verde CB+Muros	12,02	113,02	9,99	160,37	-	-	1,94	2.731,38
verde CB+Muros+GAR	11,32	122,25	9,32	176,58	-	-	0,84	2.796,07
verde CB+Muros+IQ	6,17	156,89	9,96	165,38	14,64	115,64	1,89	2.684,25
verde CB+Muros+GAR+IQ	6,04	176,55	9,44	173,36	14,65	126,90	0,82	2.741,24
verde CB+Muros+IQ CNST	11,90	112,84	9,48	169,78	9,34	170,58	1,33	1.781,13
areia CB	12,78	80,35	11,19	74,08	-	-	4,47	2.128,26
areia CB+Muros	13,15	74,07	11,37	99,25	-	-	3,38	2.125,77
areia CB+Muros+GAR	12,65	84,72	10,85	107,19	-	-	1,75	2.203,31
areia CB+Muros+IQ	7,25	105,67	11,30	100,20	16,03	78,12	3,28	2.098,61
areia CB+Muros+GAR+IQ	7,02	120,53	10,79	107,00	15,67	86,39	1,72	2.172,12
areia CB+Muros+IQ CNST	13,00	77,19	11,01	99,77	10,63	103,12	1,79	1.500,03
branco CB	13,41	65,71	11,67	59,03	-	-	4,74	1.944,06
branco CB+Muros	13,60	61,24	11,89	73,28	-	-	3,95	1.890,22
branco CB+Muros+GAR	13,25	67,26	11,44	81,79	-	-	2,79	1.962,35
branco CB+Muros+IQ	7,66	87,10	11,79	78,43	16,75	64,39	3,83	1.871,60
branco CB+Muros+GAR+IQ	7,36	98,36	11,36	78,87	16,35	72,11	2,73	1.932,31
branco CB+Muros+IQ CNST	13,30	63,95	11,65	75,49	11,21	78,65	2,00	1.382,38

Tabela 6 - Cargas térmicas de aquecimento e resfriamento, por m² e por APP

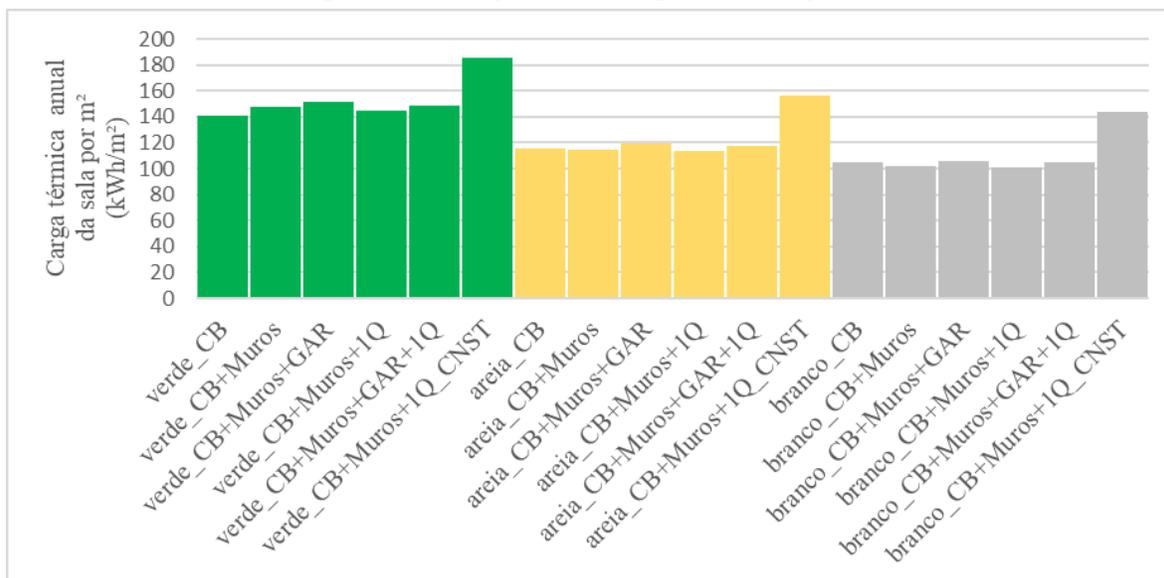
Modificação	Quarto 01		Quarto 02		Quarto adicional		Sala	
	Carga aquecimento (kWh/m ²)	Carga resfriamento (kWh/m ²)	Carga aquecimento (kWh/m ²)	Carga resfriamento (kWh/m ²)	Carga aquecimento (kWh/m ²)	Carga aquecimento (kWh/m ²)	Carga resfriamento (kWh/m ²)	Carga aquecimento (kWh/m ²)
verde_CB	1,44	13,34	1,28	14,27	-	-	0,13	141,06
verde_CB+Muros	1,47	13,87	1,28	20,53	-	-	0,10	147,64
verde_CB+Muros+GAR	1,39	15,00	1,19	22,61	-	-	0,05	151,14
verde_CB+Muros+1Q	0,76	19,25	1,28	21,18	1,80	14,19	0,10	145,09
verde_CB+Muros+GAR+1Q	0,74	21,66	1,21	22,20	1,80	15,57	0,04	148,18
verde_CB+Muros+1Q_CNST	1,46	13,85	1,21	21,74	1,12	170,58	0,14	185,34
areia_CB	1,57	9,86	1,43	9,49	-	-	0,24	115,04
areia_CB+Muros	1,61	9,09	1,46	12,71	-	-	0,18	114,91
areia_CB+Muros+GAR	1,55	10,40	1,39	13,72	-	-	0,09	119,10
areia_CB+Muros+1Q	0,89	12,97	1,45	12,83	1,97	9,59	0,18	113,44
areia_CB+Muros+GAR+1Q	0,86	14,79	1,38	13,70	1,92	10,60	0,09	117,41
areia_CB+Muros+1Q_CNST	1,60	9,47	1,41	12,77	1,28	170,58	0,19	156,09
branco_CB	1,65	8,06	1,49	7,56	-	-	0,26	105,08
branco_CB+Muros	1,67	7,51	1,52	9,38	-	-	0,21	102,17
branco_CB+Muros+GAR	1,63	8,25	1,46	10,47	-	-	0,15	106,07
branco_CB+Muros+1Q	0,94	10,69	1,51	10,04	2,06	7,90	0,21	101,17
branco_CB+Muros+GAR+1Q	0,90	12,07	1,45	10,10	2,01	8,85	0,15	104,45
branco_CB+Muros+1Q_CNST	1,63	7,85	1,49	9,67	1,35	170,58	0,21	143,85

Conforme a NBR 15575-1, a sala tem maior ocupação em relação aos dormitórios (até quatro pessoas ocupam a sala, enquanto a ocupação dos dormitórios é limitada a duas pessoas) e, portanto, tem maiores cargas internas. Na sala existe também a inserção de cargas internas relativas a equipamentos (120W das 14 às 22 horas), o que não consta nos dormitórios.

Como ilustrado na Tabela 7, as cargas térmicas relativas ao condicionamento da sala compõem a maior parte do valor total de cargas da UH. Essas cargas representam sempre mais de 75% do total, podendo chegar a valores acima de 90%.

Tabela 7 - Percentual das cargas térmicas da UH relativas às salas e dormitórios

Modificação	CgTT da UH (kWh)	CgTT sala (kWh)	CgTT dormitórios (kWh)	% CgTT da UH relativa à sala	% CgTT da UH relativa aos dormitórios
verde_CB	2.853	2.611,98	241,93	91,6%	8,4%
verde_CB+Muros	3.028	2.733,32	295,41	90,3%	9,7%
verde_CB+Muros+GAR	3.116	2.796,90	319,47	89,8%	10,2%
verde_CB+Muros+1Q	3.154	2.686,14	468,69	85,2%	14,8%
verde_CB+Muros+GAR+1Q	3.249	2.742,07	506,95	84,4%	15,6%
verde_CB+Muros+1Q_CNST	2.266	1.782,46	483,92	78,7%	21,3%
areia_CB	2.311	2.132,72	178,40	92,3%	7,7%
areia_CB+Muros	2.326	2.129,15	197,84	91,5%	8,5%
areia_CB+Muros+GAR	2.420	2.205,06	215,41	91,1%	8,9%
areia_CB+Muros+1Q	2.420	2.101,89	318,57	86,9%	13,1%
areia_CB+Muros+GAR+1Q	2.521	2.173,84	347,40	86,2%	13,8%
areia_CB+Muros+1Q_CNST	1.816	1.501,82	314,73	82,7%	17,3%
branco_CB	2.098	1.948,80	149,81	92,9%	7,1%
branco_CB+Muros	2.054	1.894,17	160,01	92,2%	7,8%
branco_CB+Muros+GAR	2.138	1.965,15	173,73	91,9%	8,1%
branco_CB+Muros+1Q	2.141	1.875,43	266,11	87,6%	12,4%
branco_CB+Muros+GAR+1Q	2.219	1.935,05	284,42	87,2%	12,8%
branco_CB+Muros+1Q_CNST	1.638	1.384,38	254,26	84,5%	15,5%

Figura 21 - Cargas térmicas para a sala, por m²

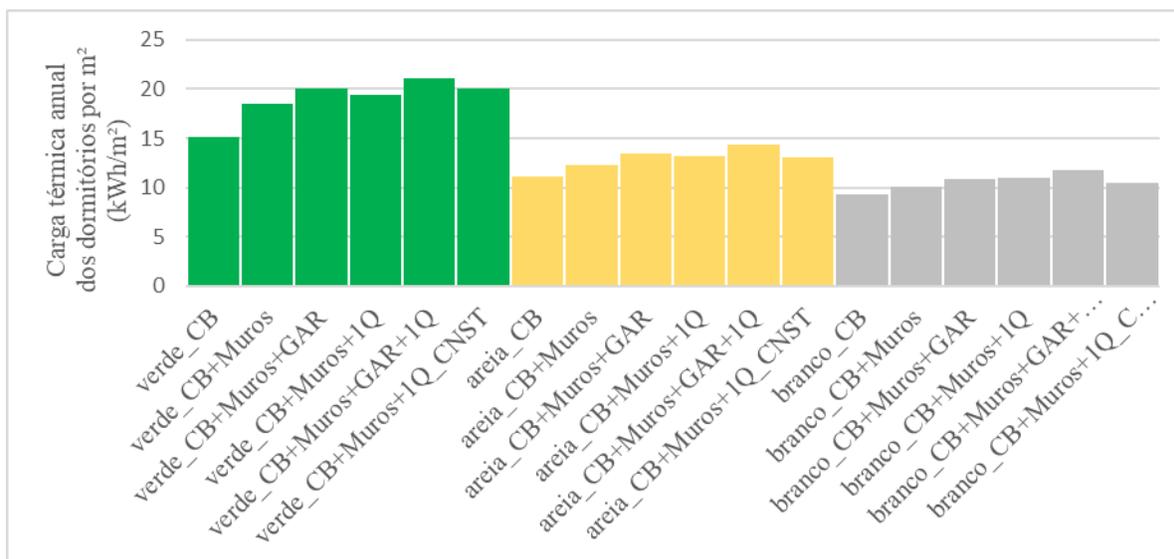
Na Figura 21 são indicadas as cargas térmicas da sala por m². Na proposta de ampliação da construtora (CB+Muros+1Q_CNST), as cargas por m² para a sala são superiores a todos os outros casos, em todas as variações de cores de paredes externas. Comparando a ampliação da construtora aos casos base de mesma cor de parede externa, o aumento de cargas térmicas da sala por m² foi de 31% em “verde_CB+Muros+1Q_CNST”, 36% em “areia_CB+Muros+1Q_CNST” e 37% para “branco_CB+Muros+1Q_CNST”.

Nos demais casos os aumentos de cargas térmicas por m² na sala são inferiores àqueles da proposta da construtora. Dentre esses casos, aqueles com a adição de garagem (CB+Muros+GAR) são os que têm maiores aumentos nesse APP. Os aumentos, em relação aos casos base de mesma cor, foram de 7% para o caso “verde_CB+Muros+GAR”, 3% para “areia_CB+Muros+GAR” e 1% para “branco_CB+Muros+GAR”.

Houve também variações em que as cargas térmicas por m² da sala diminuíram. As reduções, em relação aos casos base de mesma cor, foram de 0,2% em “areia_CB+Muros”, 1% em “areia_CB+Muros+1Q”, 2,8% em “branco_CB+Muros”, 4% em “branco_CB+Muros+1Q” e 1% em “branco_CB+Muros+GAR+1Q”. Nota-se que, comparando com o “CB+Muros”, a adição de quartos na parte posterior sempre gera redução das cargas térmicas por m² da sala, e que a adição de garagens gera aumento nessas cargas.

Apesar de as cargas térmicas oriundas da sala representarem sempre mais de 70% do total das cargas da UH, cargas térmicas dos dormitórios também são impactadas pelas modificações na geometria e pela cor das paredes externas das edificações.

Figura 22 - Cargas térmicas para os dormitórios, por m²



Dentro de uma mesma cor, conforme a Figura 22, o maior aumento nas cargas térmicas por área nos dormitórios pode ser percebido na combinação de um quarto adicional na parte posterior e garagem (CB+Muros+GAR+1Q). Comparados aos casos base de mesma cor, os aumentos foram de 39,2% para o caso “verde_CB+Muros+GAR+1Q”, 28,9% para “areia_CB+Muros+GAR+1Q” e 26% para “branco_CB+Muros+GAR+1Q”.

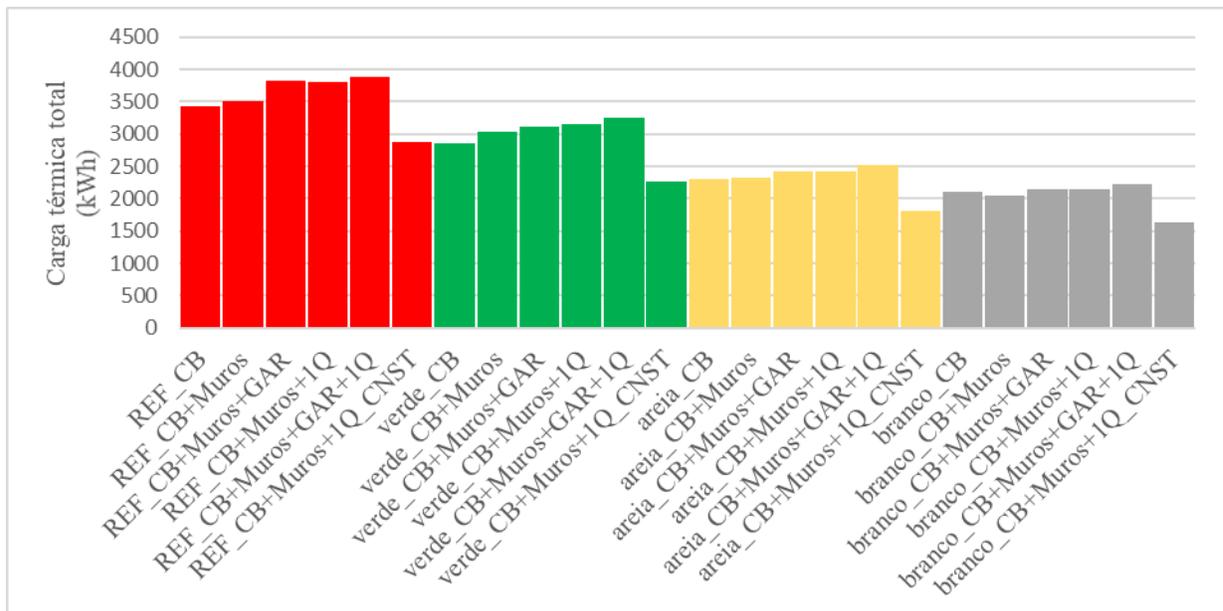
Também a proposta de ampliação da construtora, gera aumento de carga térmica por m² nos dormitórios. As cargas térmicas, em relação àquelas dos casos base de mesma cor, aumentaram em 32,5% para o caso “verde_CB+Muros+GAR+1Q”, 16,4% para “areia_CB+Muros+GAR+1Q” e 12,2% para “branco_CB+Muros+GAR+1Q”.

4.1.1.2 Cargas térmicas das edificações de referência

Na classificação do desempenho térmico das edificações são comparadas as cargas térmicas das edificações reais e suas respectivas condições de referência. Nessa comparação,

ilustrada na Figura 23, todas as edificações nas condições de referência tiveram cargas térmicas superiores às das edificações reais correspondentes.

Figura 23 - Cargas térmicas das edificações reais e suas condições de referência



Na Tabela 8 são apresentadas as cargas térmicas totais (CgTT) de cada edificação em sua condição real e em suas respectivas condições de referência, além da redução percentual de cada caso.

As reduções de carga térmica em relação às edificações de referência ocorreram em todas as geometrias, mas os aumentos foram mais distintos conforme as cores. A maior diferença de redução em relação às respectivas referências, entre casos de mesma geometria, foi para o caso “CB+Muros”. Enquanto no caso “verde_CB+Muros” houve redução de 16,6% em relação à referência, no caso “branco_CB+Muros” a redução foi de 41,4%.

Tabela 8 - Cargas térmicas das edificações em suas condições real e referência

Modificação	CgTT real (kWh)	CgTT do modelo de referência (kWh)	% de redução da CgTT
verde_CB	2.853	3.420	16,6%
verde_CB+Muros	3.028	3.507	13,7%
verde_CB+Muros+GAR	3.116	3.831	18,7%
verde_CB+Muros+1Q	3.154	3.810	17,2%
verde_CB+Muros+GAR+1Q	3.249	3.877	16,2%
verde_CB+Muros+1Q_CNST	2.266	2.881	21,3%
areia_CB	2.311	3.420	32,4%
areia_CB+Muros	2.326	3.507	33,7%
areia_CB+Muros+GAR	2.420	3.831	36,8%
areia_CB+Muros+1Q	2.420	3.810	36,5%
areia_CB+Muros+GAR+1Q	2.521	3.877	35,0%
areia_CB+Muros+1Q_CNST	1.816	2.881	37,0%
branco_CB	2.098	3.420	38,7%
branco_CB+Muros	2.054	3.507	41,4%
branco_CB+Muros+GAR	2.138	3.831	44,2%
branco_CB+Muros+1Q	2.141	3.810	43,8%
branco_CB+Muros+GAR+1Q	2.219	3.877	42,8%
branco_CB+Muros+1Q_CNST	1.638	2.881	43,1%

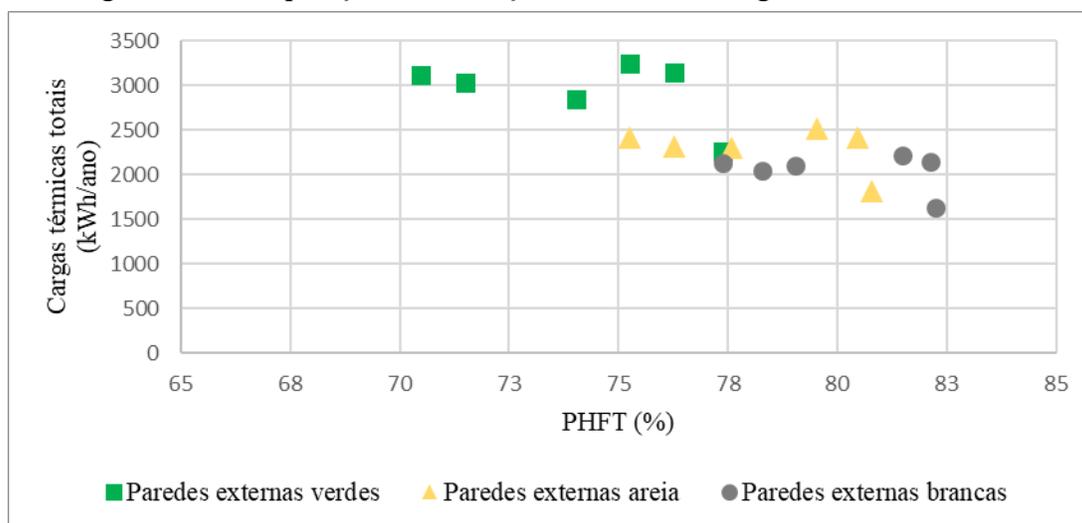
4.1.2 PHFT

O PHFT é um indicador das horas ocupadas, para a edificação ventilada naturalmente, em que as temperaturas operativas estão dentro de uma faixa pré-estabelecida pela NBR 15575-1, que para Uberlândia, varia de 18 a 26°C. Como a faixa de temperatura e a metodologia de cálculo do PHFT são distintas das usadas para o cálculo da carga térmica, não há necessária correlação entre as edificações de menor carga térmica e maiores PHFT, apesar dessa combinação ser possível.

Na Figura 23 é ilustrada uma comparação dos casos estudados conforme seus PHFT e cargas térmicas. Para a ampliação proposta pela construtora, com paredes externas na cor branca (branco_CB+Muros+1Q_CNST) existe o maior PHFT (82,2%) e a menor carga térmica (1638 kWh/ano). Apesar disso, as demais variações não obedecem a mesma premissa. A título de exemplo, a variação “verde_CB+Muros+GAR+1Q” tem a maior carga

térmica anual (3249kWh/ano), mas seu PHFT é de 75,3%, maior que nos casos “verde_CB” (74%), “verde_CB+Muros” (71,5%) e “verde_CB+Muros+GAR” (70,5%). Dentro das variações geométricas, separando por cor, o pior PHFT foi sempre aquele com a adição de muros e da garagem. Quanto aos quartos, a ampliação proposta pela construtora teve sempre aumento do PHFT e redução de carga térmica em relação ao caso base. No entanto, apesar da adição de um quarto na parte posterior da edificação levar ao aumento no PHFT, ela gera também aumento na carga térmica total da edificação.

Figura 24 - Comparação das variações de PHFT e cargas térmicas das UHs



Os valores detalhados do PHFT, do percentual de horas de ocupação com temperaturas superiores à faixa de temperatura operativa (PHsFT), do percentual de horas de ocupação com temperaturas inferiores à faixa de temperatura operativa (PHiFT), para cada variação estudada, além do seu incremento em relação à sua edificação de referência são apresentados na Tabela 9. A partir desses dados é possível perceber que em todos os casos estudados houve incremento de PHFT nas edificações reais em relação à sua condição de referência. Em relação às respectivas edificações de referência, o caso que apresentou maior incremento no PHFT foi a “branco_CB+Muros+GAR”, com 14,8%, enquanto aquele que obteve menor incremento foi o caso “verde_CB+Muros+1Q”, com 3%. Nessa diferença de incremento, destaca-se a cor das paredes externas, visto que na Tabela 9, mantém-se o padrão de, para uma mesma geometria, a cor mais clara (menor absorvância à radiação solar) ter maior incremento de PHFT em relação à edificação de referência. Comparando todas as

edificações reais por cor, as que apresentam os maiores valores de PHFT são as com paredes externas em cor branca.

Tabela 9 - Comparação dos PHFT para UHs reais e na condição referência

Modificação	PHiFT da UH real (%)	PHsFT da UH real (%)	PHFT da UH real (%)	PHFT da UH de referência (%)	Incremento do PHFT (%)
verde_CB	0,6	25,3	74,0	66,9	7,1
verde_CB+Muros	0,6	27,9	71,5	65,6	6,0
verde_CB+Muros+GAR	0,6	29	70,5	62,6	7,9
verde_CB+Muros+IQ	0,6	23,1	76,3	69,0	7,3
verde_CB+Muros+GAR+IQ	0,6	24,1	75,3	72,3	3,0
verde_CB+Muros+IQ_CNST	0,7	21,9	77,4	71,3	6,1
areia_CB	0,7	21,7	77,6	66,9	10,7
areia_CB+Muros	0,7	23	76,3	65,6	10,7
areia_CB+Muros+GAR	0,6	24,1	75,3	62,6	12,7
areia_CB+Muros+IQ	0,7	18,8	80,5	69,0	11,5
areia_CB+Muros+GAR+IQ	0,7	19,8	79,5	72,3	7,2
areia_CB+Muros+IQ_CNST	0,8	18,5	80,8	71,3	9,5
branco_CB	0,8	20,2	79,1	66,9	12,2
branco_CB+Muros	0,7	21	78,3	65,6	12,7
branco_CB+Muros+GAR	0,7	21,9	77,4	62,6	14,8
branco_CB+Muros+IQ	0,8	17,1	82,1	69,0	13,1
branco_CB+Muros+GAR+IQ	0,7	17,8	81,5	72,3	9,2
branco_CB+Muros+IQ_CNST	0,8	17	82,2	71,3	11,0

Ainda a partir das informações apresentadas na Tabela 9 é possível notar que o maior percentual de horas fora da faixa de temperatura operativa é o PHsFT, corroborando com os dados de carga térmica, que são predominantes para resfriamento. Também chama a atenção que os valores de PHiFT nunca superam 0,8% das horas ocupadas, o que vai ao encontro das baixas cargas térmicas para aquecimento dos ambientes, e mais uma vez reforça a importância de analisar a necessidade de exigência de mensuração de aquecimento em climas com tão baixa demanda.

4.1.3 Temperaturas operativas máximas e mínimas

A temperatura operativa máxima ($TO_{Máx}$) e a temperatura operativa mínima ($TO_{Mín}$) da UH também são critérios para a avaliação do nível de desempenho térmico. Nas modificações analisadas neste trabalho, tanto as $TO_{Máx}$ quanto as $TO_{Mín}$ foram sempre inferiores àquelas relativas à edificação de referência. Nas Tabelas 10 e 11 estão indicadas as $TO_{Máx}$ e $TO_{Mín}$, respectivamente, das dezoito variações de geometria e cores apresentadas neste trabalho e de suas respectivas edificações de referência, e também as diferenças entre as condições reais e de referência.

Para as edificações reais, a que apresentou maior $TO_{Máx}$ foi a combinação “verde_CB+Muros”, com 33,7°C. Em relação à redução frente à sua respectiva edificação de referência, aquela que apresentou a maior redução foi a variação “branco_CB+Muros+1Q+GAR”, com redução de 1,9°C. Quanto à $TO_{Mín}$, a edificação que apresentou menor valor foi a variação “branco_CB+Muros+1Q”, com 13,4°C, também extrapolando em 0,1°C o limite de 1°C de redução da $TO_{Mín}$ em relação à sua condição de referência.

Tabela 10 - Temperaturas operativas máximas das edificações estudadas e suas respectivas referências

Modificação	T_{oMáx} (°C)	T_{oMáx} da edificação de referência (°C)	Diferença (°C)
verde_CB	33,4	33,4	0
verde_CB+Muros	33,7	33,8	-0,1
verde_CB+Muros+GAR	33,6	34,0	-0,4
verde_CB+Muros+1Q	33,6	33,7	-0,1
verde_CB+Muros+GAR+1Q	33,5	34,6	-1,1
verde_CB+Muros+1Q_CNST	33,5	33,5	0
areia_CB	32,6	33,4	-0,8
areia_CB+Muros	32,7	33,8	-1,1
areia_CB+Muros+GAR	32,6	34,0	-1,4
areia_CB+Muros+1Q	32,6	33,7	-1,1
areia_CB+Muros+GAR+1Q	32,5	34,6	-2,1
areia_CB+Muros+1Q_CNST	32,6	33,5	-0,9
branco_CB	32,2	33,4	-1,2
branco_CB+Muros	32,3	33,8	-1,5
branco_CB+Muros+GAR	32,1	34,0	-1,9
branco_CB+Muros+1Q	32,2	33,7	-1,5
branco_CB+Muros+GAR+1Q	32,1	34,6	-2,5
branco_CB+Muros+1Q_CNST	32,3	33,5	-1,2

Tabela 11 - Temperaturas operativas mínimas das edificações estudadas e suas respectivas referências

Modificação	T_{oMin} (°C)	T_{oMin} da edificação de referência (°C)	Diferença (°C)
verde_CB	13,8	14,8	-1,0
verde_CB+Muros	13,9	14,7	-0,8
verde_CB+Muros+GAR	14,2	15,0	-0,8
verde_CB+Muros+1Q	13,7	14,5	-0,8
verde_CB+Muros+GAR+1Q	13,8	13,8	0
verde_CB+Muros+1Q_CNST	14,2	15,0	-0,8
areia_CB	13,7	14,8	-1,1
areia_CB+Muros	13,7	14,7	-1,0
areia_CB+Muros+GAR	14,0	15,0	-1,0
areia_CB+Muros+1Q	13,5	14,5	-1,0
areia_CB+Muros+GAR+1Q	13,6	13,8	-0,2
areia_CB+Muros+1Q_CNST	14,0	15,0	-1,0
branco_CB	13,6	14,8	-1,2
branco_CB+Muros	13,6	14,7	-1,1
branco_CB+Muros+GAR	13,9	15,0	-1,1
branco_CB+Muros+1Q	13,4	14,5	-1,1
branco_CB+Muros+GAR+1Q	13,5	13,8	-0,3
branco_CB+Muros+1Q_CNST	13,9	15,0	-1,1

4.2 CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO

A classificação do nível do desempenho térmico depende da adequação da edificação real a requisitos de temperatura operativa máxima e mínima, redução de carga térmica e PHFT, quando comparada à edificação de referência. É possível que em um dos requisitos a edificação real apresente significativo incremento ou redução em relação à sua edificação de referência, mas em outro não satisfaça nem mesmo os requisitos mínimos.

Dentre as edificações apresentadas nesse estudo, o principal critério que não foi atendido e limitou a classificação do nível de desempenho térmico das edificações foi a redução da temperatura operativa mínima das edificações reais frente às suas condições de referência. A classificação do desempenho térmico de todas as variações estudadas é apresentada na Tabela 12

Tabela 12 - Classificação do nível de desempenho térmico das edificações

Modificação	Nível do desempenho térmico
verde_CB	Intermediário
verde_CB+Muros	Mínimo
verde_CB+Muros+GAR	Mínimo
verde_CB+Muros+1Q	Intermediário
verde_CB+Muros+GAR+1Q	Mínimo
verde_CB+Muros+1Q_CNST	Intermediário
areia_CB	Não atende aos requisitos de $\Delta T_{O_{\text{Min}}}$ da NBR 15575
areia_CB+Muros	Intermediário
areia_CB+Muros+GAR	Intermediário
areia_CB+Muros+1Q	Superior
areia_CB+Muros+GAR+1Q	Intermediário
areia_CB+Muros+1Q_CNST	Superior
branco_CB	Não atende aos requisitos de $\Delta T_{O_{\text{Min}}}$ da NBR 15575
branco_CB+Muros	Não atende aos requisitos de $\Delta T_{O_{\text{Min}}}$ da NBR 15575
branco_CB+Muros+GAR	Não atende aos requisitos de $\Delta T_{O_{\text{Min}}}$ da NBR 15575
branco_CB+Muros+1Q	Não atende aos requisitos de $\Delta T_{O_{\text{Min}}}$ da NBR 15575
branco_CB+Muros+GAR+1Q	Superior
branco_CB+Muros+1Q_CNST	Não atende aos requisitos de $\Delta T_{O_{\text{Min}}}$ da NBR 15575

Dentre as modificações estudadas, seis casos, do total de dezoito, não atenderam aos requisitos de desempenho térmico mínimo exigidos pela NBR 15575-1, por extrapolarem o limite de redução da temperatura operativa mínima. Os casos que não atenderam tais requisitos foram o caso base com paredes externas na cor areia (areia_CB) e todos os casos com paredes externas na cor branca, com exceção do caso “branco_CB+Muros+GAR+1Q”.

Nota-se que casos com cargas térmicas mais altas podem ter melhor classificação de desempenho térmico que aqueles de cargas mais baixas. Esse fato é relevante, já que a classificação não se dá apenas pelas cargas térmicas, mas por uma análise combinada de cargas térmicas, PHFT e temperaturas operativas.

4.3 BALANÇO TÉRMICO NO AR POR CONVECÇÃO

4.3.1 Balanço térmico no ar do APP sala para os casos na cor areia

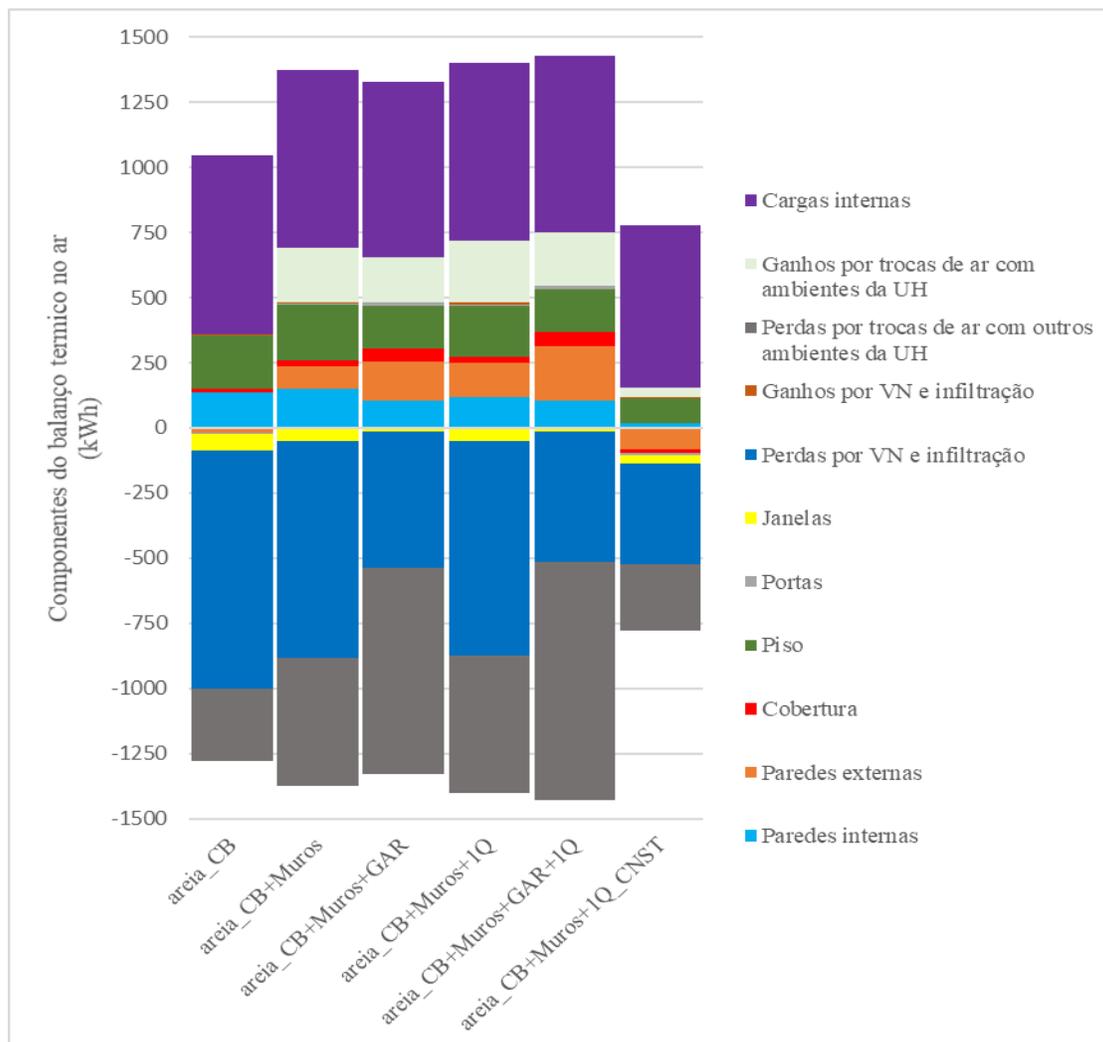
A partir dos dados anteriormente citados, infere-se que as edificações com garagem (CB+Muros+GAR) e com garagem e quarto adicional (CB+Muros+GAR+1Q) são aquelas com maior aumento de carga térmica em relação ao caso base. Em ambas, pela alteração na forma da edificação, há mudança nos fluxos de ventilação e trocas de calor na adição de quartos, há também a carga térmica desse ambiente. A fim de mensurar as mudanças nos fluxos de calor com as alterações nas edificações, foi realizado o balanço térmico no ar por convecção. O balanço térmico foi realizado apenas para o APP sala, visto que os maiores impactos nas cargas térmicas foram percebidos nesse ambiente.

No balanço térmico da sala, assim como em todas as análises, a cozinha foi considerada como parte da sala, já que não há porta separando esses ambientes. Para a sala, as portas consideradas foram as duas portas que ligam sala e a cozinha à área externa da UH, e as portas que ligam a sala aos dormitórios e ao banheiro. As janelas são as janelas posicionadas na parede sul da sala e na parede leste da cozinha. Considerou-se como paredes externas da sala as paredes leste da cozinha, oeste e sul da sala, por estarem expostas ao meio externo ou à garagem em todos os casos analisados. Já as paredes a norte da cozinha e da sala, além da parede que separa parcialmente esses ambientes, têm contato com ambientes internos da UH em todos os casos, principalmente com os dormitórios, e por isso foram consideradas como internas.

Como todas as edificações foram simuladas separadamente com ventilação natural e com condicionamento artificial, os balanços térmicos também foram assim separados. Na Figura 25 é ilustrado o balanço térmico de todas as modificações estudadas, com paredes externas na cor areia, separadas pelas simulações com uso de ventilação natural (VN).

No balanço térmico da simulação com uso de VN, tem-se ganhos e perdas de calor pela VN, ocorridos quando as janelas estão abertas, somados aos ganhos e perdas por infiltração, que ocorrem quando as janelas estão fechadas.

Figura 25 - Balanço térmico no ar para o APP sala, variações em cor areia, com VN



Comparando o CB com o caso “CB+Muros”, nota-se que a principal diferença entre os dois foi o aumento das perdas de calor por trocas de ar com outros ambientes da UH (-210 kWh). Nessa comparação o maior aumento nos ganhos de calor ocorreu pelas paredes externas da sala (+106 kWh), mas também houve redução de 76 kWh nas perdas de calor por VN e infiltração.

No caso com a adição de garagem e muros (CB+Muros+GAR), em relação ao caso “CB+Muros”, a maior diferença observada foi a redução de 311 kWh nas perdas de calor por VN e infiltração. Em compensação, ocorreu aumento de 301 kWh nas perdas de calor por trocas de ar com os outros ambientes da UH, além de aumento nos ganhos de calor pelas

paredes externas, pelas portas, e também pela cobertura, totalizando uma adição de 132 kWh, e queda nos ganhos pelo piso e janelas, principalmente pelo sombreamento da garagem nesses elementos.

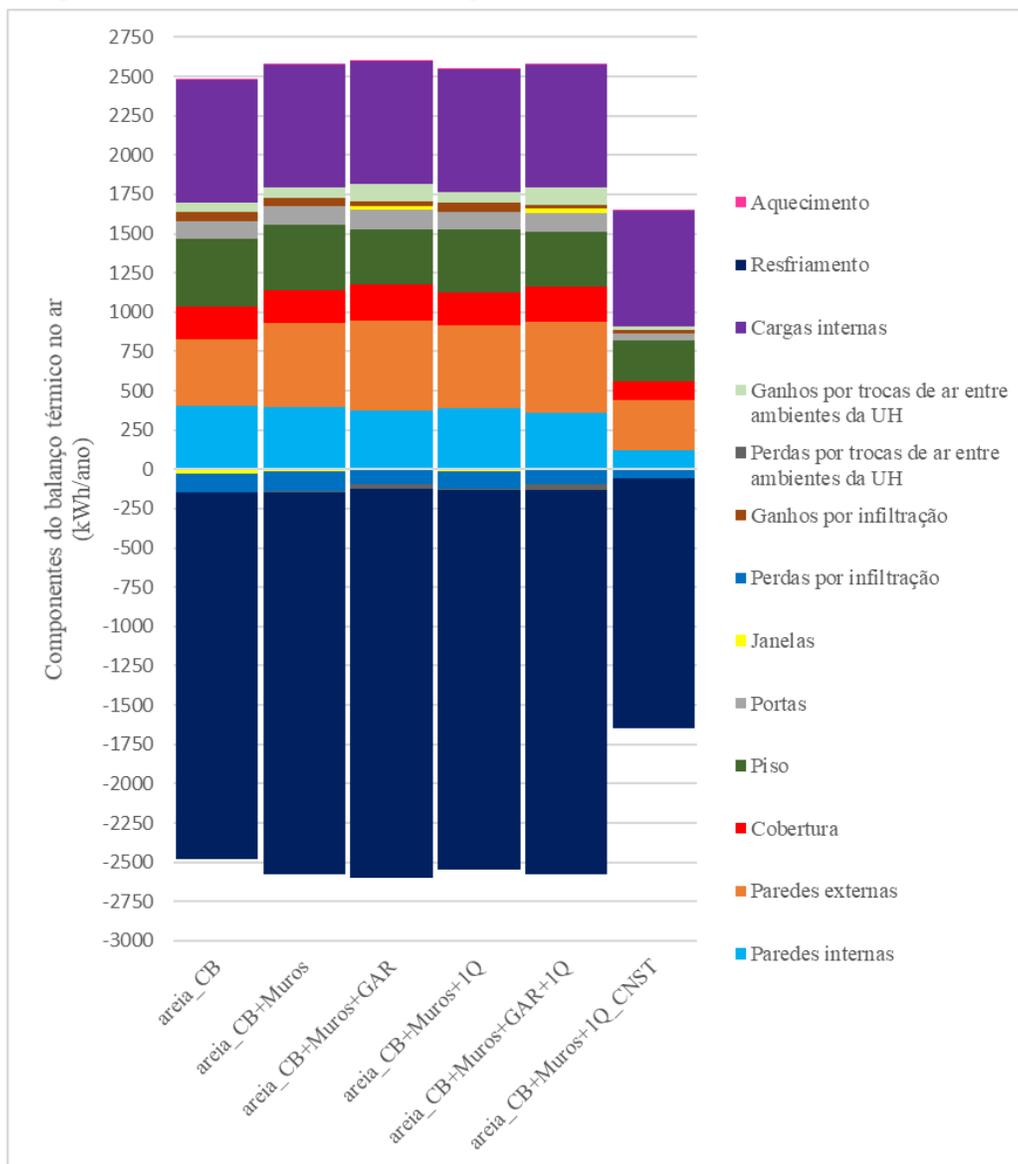
Comparando o caso “CB+Muros” ao caso com a adição de muros e quarto na parte posterior (CB+Muros+1Q), as diferenças nos ganhos e perdas de calor no APP sala são sutis. As principais mudanças foram a redução do ganho de calor pelas paredes internas (-31 kWh), e aumento do ganho de calor pelas paredes externas (+46 kWh) e pelas trocas de ar com outros ambientes da UH (-37 kWh).

Para o caso “CB+Muros+GAR+1Q”, em relação ao caso “CB+Muros”, houve aumento de 119 kWh no ganho de calor pelas paredes externas, e redução de 335 kWh das perdas pela VN, mas também aumento de 425 kWh no ganho de calor pelas trocas de ar com outros ambientes da UH. Assim como no caso “CB+Muros+GAR”, no caso com garagem e quarto adicional, há o aumento do número de ambientes considerados, o que justifica o aumento das perdas de calor por trocas de ar com outros ambientes, assim como a adição da garagem justifica a redução nas perdas de calor por VN e infiltração.

Comparando o caso “CB+Muros” com a ampliação proposta pela construtora (CB+Muros+1Q_CNST), há menos ganhos de calor, mas também menos perdas na proposta de ampliação da construtora. Houve queda dos ganhos de calor pelas paredes internas (-131 kWh) e externas (-170 kWh). As perdas pela VN reduziram em 448 kWh, as perdas por trocas de ar com outros ambientes reduziram em 234 kWh. Também as cargas internas foram menores (redução de 53 kWh) por haver menor área de sala e, portanto, menor área iluminada. No caso da ampliação proposta pela construtora, além de a sala ser menor, e com menores áreas de parede, há uma porta separando a sala do corredor e dos demais ambientes da UH, além do reposicionamento da janela (que originalmente era ao sul e nessa ampliação muda para leste), bem como não se considera os elementos da cozinha.

Os balanços térmicos no ar para as simulações com condicionamento artificial (AC) estão ilustrados na Figura 26. No balanço térmico com AC, há a consideração de cargas térmicas de aquecimento e resfriamento, e as janelas são consideradas sempre fechadas e, assim, quanto à ventilação natural, há somente ganhos e perdas de calor por infiltração e por trocas de ar entre ambientes da UH.

Figura 26 - Balanço térmico no ar para AC, APP sala, variações em cor areia



Nas simulações com AC, comparando o caso com muros (CB+Muros) com o caso base, houve principalmente aumento nos ganhos de calor pelas paredes externas (111 kWh), o que gerou também aumento de 99 kWh na carga de refrigeração.

Com a adição da garagem (CB+Muros+GAR) em relação ao “CB+Muros”, houve aumento de 42 kWh no ganho de calor pelas paredes externas da sala, justificado sobretudo pela temperatura do ar na garagem. Também se nota a redução de 59 kWh no ganho de calor pelo piso já que há o sombreamento da janela da sala pela garagem, reduzindo a incidência de radiação no piso. Ocorreu ainda aumento nas perdas (27 kWh) e ganhos de calor (45 kWh)

pelas trocas de ar entre os ambientes da UH, justificado principalmente pela consideração da garagem como um ambiente.

No caso com adição de um quarto na parte posterior (CB+Muros+1Q), em relação à variação “CB+Muros”, há uma pequena redução na carga térmica de resfriamento da sala (menos 21 kWh), justificada principalmente pela redução de 13 kWh dos ganhos de calor pelas paredes internas.

Para a variação “CB+Muros+GAR+1Q”, em relação ao “CB+Muros”, há redução de 63 kWh nos ganhos de calor pelo piso, redução de 37 kWh nos ganhos pelas paredes internas, aumento de 41 kWh nos ganhos de calor pelas paredes externas e de 48 kWh pelas trocas de ar entre os ambientes da UH. Assim como nos demais casos com garagem, há também redução nos ganhos de calor pelas janelas (nesse caso redução de 34 kWh) e redução nas perdas e ganhos por infiltração (queda de 31 kWh e 29 kWh, respectivamente).

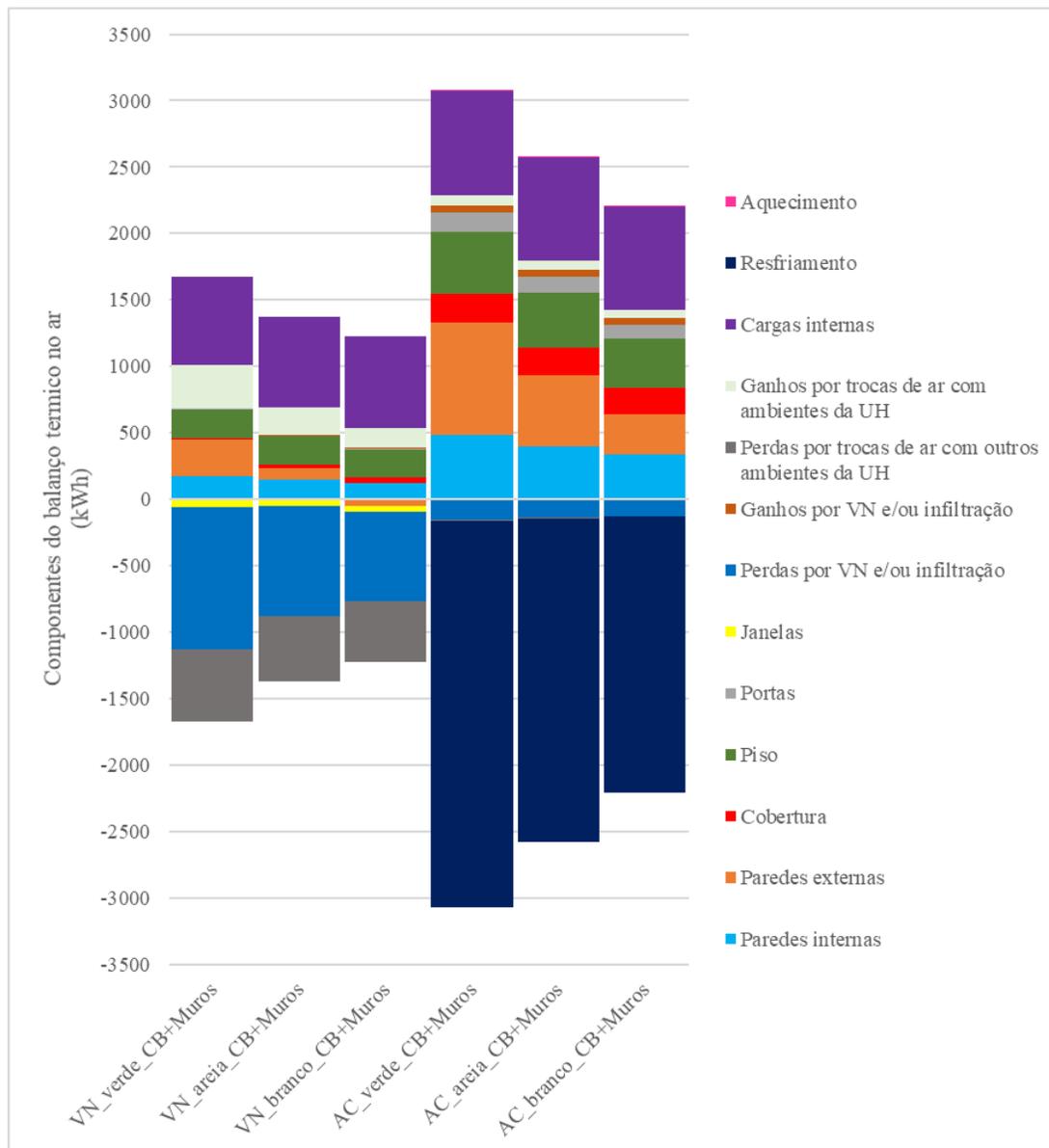
Na proposta de ampliação da construtora (CB+Muros+1Q_CNST), em relação ao caso “CB+Muros”, há, assim como ocorreu para análise com VN, redução de todos os valores de ganhos e perdas de calor. As principais reduções de ganhos, refletidas na queda da carga térmica para resfriamento, ocorreram nas paredes internas (queda de 275 kWh), paredes externas (-218 kWh), cobertura (-89 kWh) e piso (-152 kWh), levando à redução de 843 kWh na carga de resfriamento. Essas reduções foram motivadas principalmente pela redução da área da sala e dos elementos da envoltória em relação ao CB.

Nas edificações descritas no balanço térmico por AC, nota-se que há ganhos importantes pelas paredes externas e pisos. Isso se justifica principalmente pela elevada transmitância das paredes externas em concreto, e, no caso do piso, relaciona-se com a transmitância alta dos vidros das janelas e portas, cujos ganhos de calor refletem no piso.

4.3.2 Impacto das cores das paredes externas para o caso “CB+Muros”

Na Figura 27 é apresentada a comparação dos balanços térmicos no ar da modificação “CB+Muros” para paredes externas nas cores verde, areia e branco.

Figura 27 - Balanço térmico no ar do caso "CB+Muros" e variação das cores das paredes externas



No balanço com VN há uma redução de 189 kWh nos ganhos de calor pelas paredes externas entre os casos “verde_CB+Muros” e “areia_CB+Muros”, devido diferença de absorvância à radiação solar. Também entre esses casos há uma redução de 238 kWh nas perdas por VN e infiltração. Como no caso com paredes externas verdes há maiores ganhos de calor por paredes externas, as temperaturas do ar nos ambientes são maiores, aumentando as horas com necessidade e possibilidade de ventilação natural. Comparando os casos “verde_CB+Muros” e “branco_CB+Muros”, no caso o saldo das trocas de calor pelas

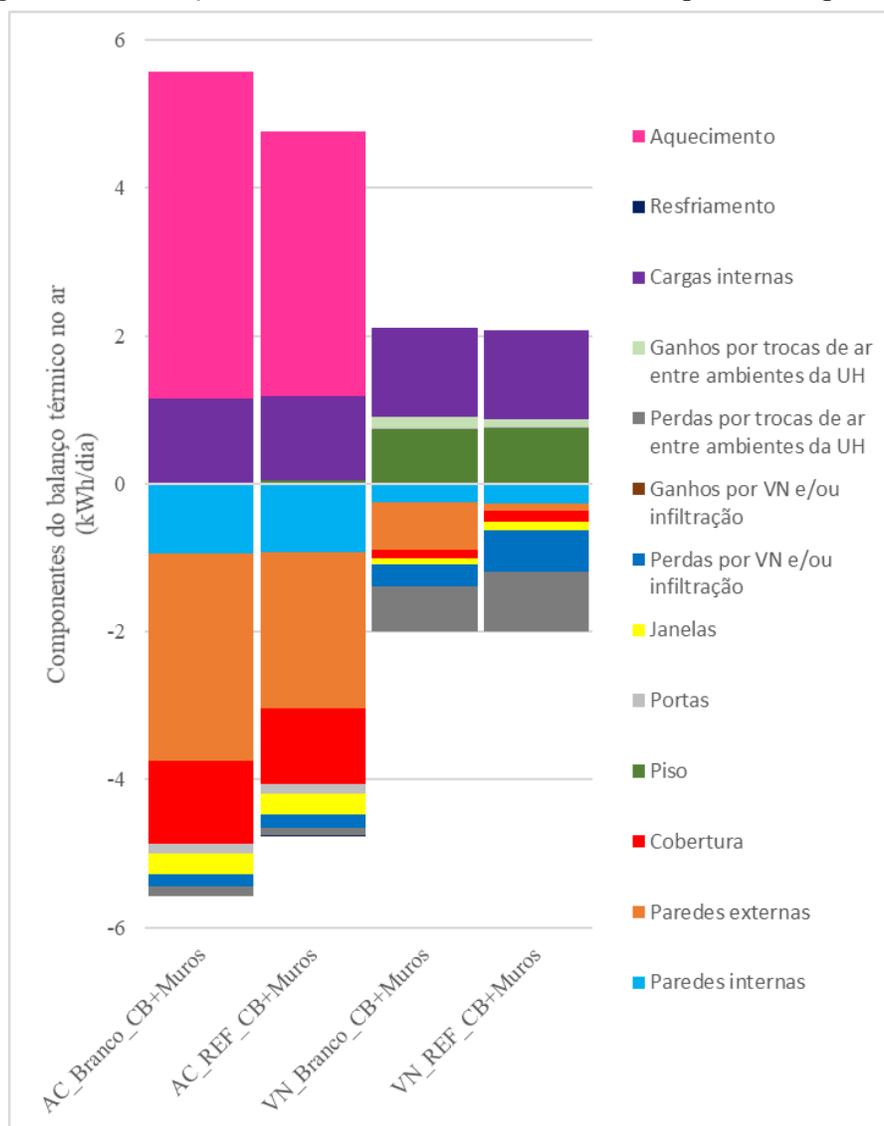
paredes externas é negativo para a cor branca, com redução de 329 kWh frente ao caso com paredes verdes, e as perdas por VN também diminuem de 400 kWh para o caso “branco_CB+Muros”.

No balanço térmico no ar com AC, as principais mudanças entre os casos com cores diferentes são o aumento dos ganhos de calor pelas paredes externas, seguidos pelos aumentos nas paredes internas e no piso. Em relação ao caso “verde_CB+Muros” há redução de 535 kWh nos ganhos pelas paredes externas para o caso com paredes brancas e 306 kWh para as paredes em cor areia.

4.3.3 Balanço térmico no ar para o dia com as menores temperaturas operativas

No caso “CB+Muros”, as menores temperaturas operativas em horas ocupadas da UH foram obtidas no APP “Quarto 1” no dia 26 de julho do arquivo climático. Também a temperatura operativa mínima do caso “branco_CB+Muros” foi 1,1°C abaixo da temperatura operativa mínima da sua condição de referência (REF_CB+Muros), o que não atende ao requisito de redução máxima, que é de 1°C. Os resultados do balanço térmico de AC e VN comparando esses casos, no dia 26 de julho, estão apresentados na Figura 28.

Figura 28 - Balanço térmico no dia com as menores temperaturas operativas



No balanço térmico com AC, nota-se que há 31% mais perdas de calor pelas paredes externas, e 11% mais perdas de calor pela cobertura no caso real com paredes brancas (branco_CB+Muros) em relação à condição de referência. Já para o balanço com VN a principal diferença está na perda de calor pelas paredes externas, com 0,53 kWh de perdas a mais no caso “branco_CB+Muros” em relação à condição de referência.

Como é um dia com temperaturas baixas, há a tendência de perdas de calor da UH para o meio externo. Na condição de referência a absorvância à radiação solar das paredes externas é de 0,58, enquanto no caso com paredes brancas a absorvância à radiação solar é de 0,3. Com a menor absorvância à radiação solar no caso com paredes brancas, espera-se que haja

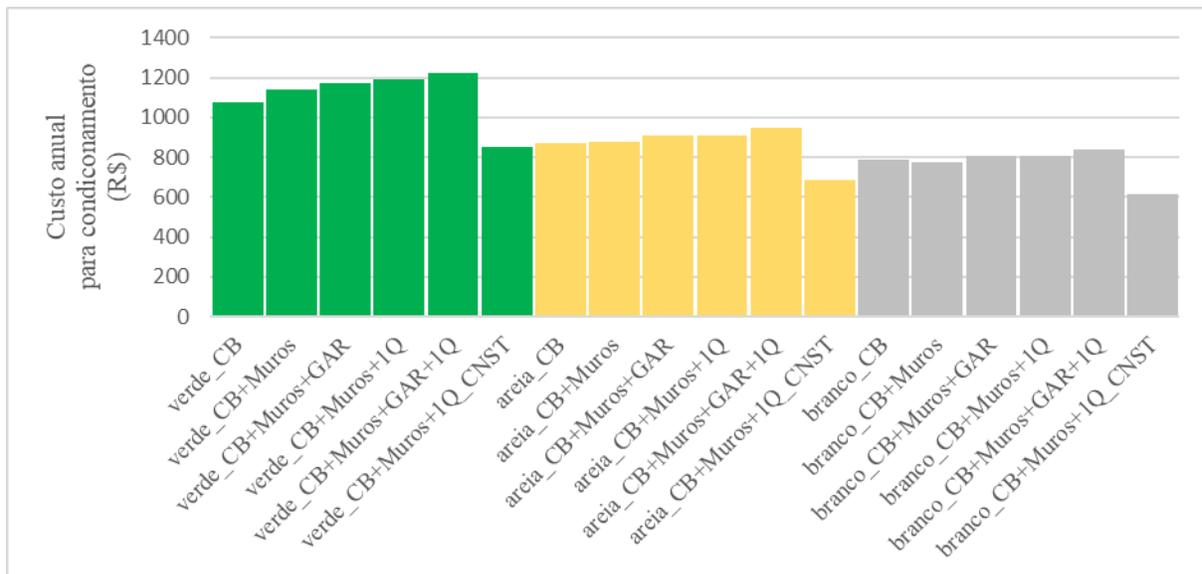
menores ganhos de calor durante o dia, o que favorece uma soma diária menor. Já quanto à cobertura, na condição de referência há uma laje de concreto com 10 cm e telhas de fibrocimento com absorvância à radiação solar de 0,65, enquanto na condição real a cobertura é composta por telha cerâmica com absorvância de 0,45, mais forro de PVC. Assim, apesar de haver maior transmitância térmica na cobertura da edificação de referência, a maior absorvância à radiação solar das telhas e a maior capacidade térmica dessa cobertura favorecem um saldo de ganhos de calor mais elevado em relação à cobertura da condição real.

4.4 CUSTOS DE ELETRICIDADE PARA CONDICIONAMENTO

Na análise de custos para o condicionamento das edificações foi realizada a conversão das cargas térmicas em consumo, através da divisão das cargas pelos coeficientes de eficiência energética (CEE) dos aparelhos de condicionamento de ar, idênticos para todas as variações. Em seguida houve a multiplicação dos consumos anuais pela tarifa por kWh. Logo, para os custos, o padrão de maiores e menores valores é o mesmo observado na análise das cargas térmicas das edificações.

A edificação de maior custo operacional relativo à energia elétrica para condicionamento é a de variação “verde_CB+Muros+GAR+1Q”, com custo anual para condicionamento artificial de R\$ 1.224,62. No extremo oposto está a variação “branco_CB+Muros+1Q_CNST”, que, apesar de ter um custo anual para condicionamento de R\$ 617, possui três quartos e seis pessoas em sua ocupação, assim como no caso de maior custo. Os custos relativos à eletricidade para condicionamento de todas as edificações analisadas são ilustrados na Figura 29.

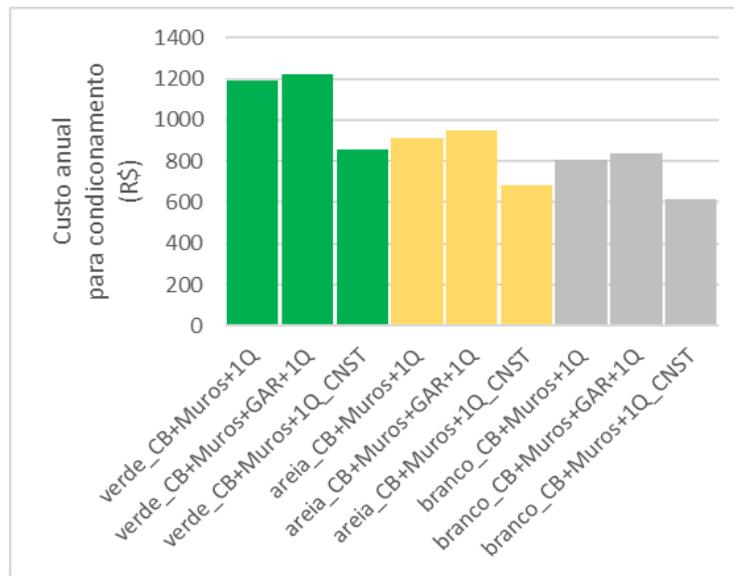
Figura 29 - Custos relativos à eletricidade para condicionamento



Como apontado anteriormente, os extremos de consumo são edificações de três quartos, ou seja, tanto a edificação de maior quanto a de menor custo anual para condicionamento têm quarto adicional, mas com variação do tamanho e posicionamento dos APPs, não havendo necessária correlação entre maior ocupação ou mais área construída total, e maior carga. Nos casos analisados, para o clima da cidade de Uberlândia, as cargas térmicas das salas compõem sempre a maior parte das cargas da UH, e por isso as áreas da sala são mais relevantes que as dos quartos para o aumento de carga térmica, consumo e custo da eletricidade.

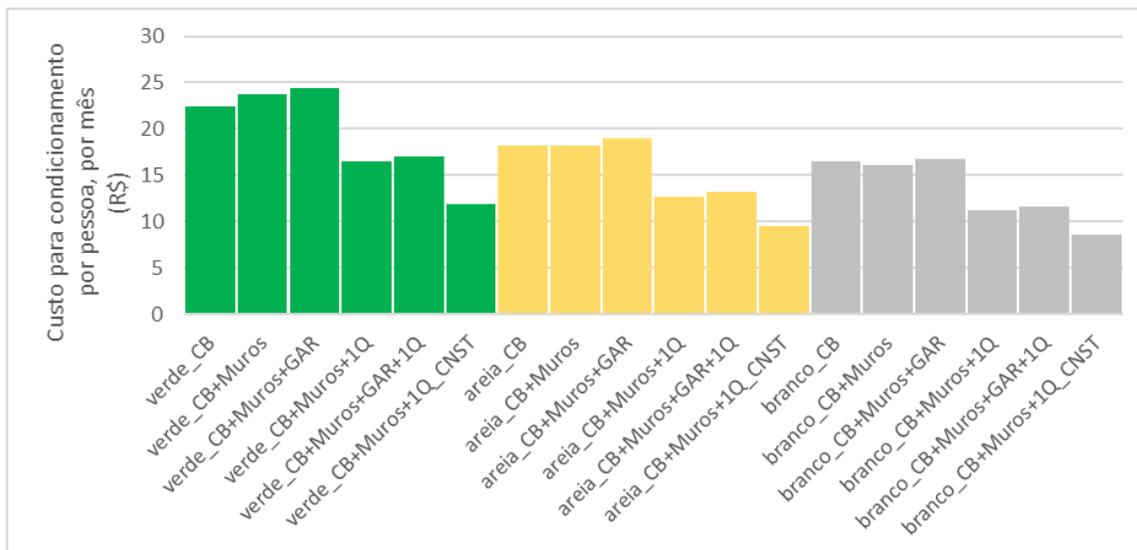
Na comparação isolada apenas de UHs com quartos adicionais, nota-se que, dentro de uma mesma cor, o menor custo, assim como ocorreu para as cargas térmicas, ocorre para a ampliação apresentada pela construtora (CB+Muros+1Q_CNST), enquanto a variação com garagem e quarto adicional é sempre aquela de maior custo (Figura 30). O caso “branco_CB+Muros+1Q_CNST” tem custo anual de R\$ 617,4, enquanto o caso “verde_CB+Muros+GAR+1Q”, tem mais que o dobro do custo anual, com R\$ 1224,62.

Figura 30 - Custos relativos à eletricidade para condicionamento das UHs com três quartos



Uma vez que nas análises estão incluídas UHs com variação na quantidade de pessoas, também foram mensurados os custos relativos à eletricidade para condicionamento por pessoa (Figura 30). Na contagem per capita, as edificações com quatro ocupantes têm maiores valores mensais relativos ao custeio de eletricidade para condicionamento. Isso se explica, dentre outros fatores, pela predominância de cargas térmicas nas salas, onde não há alteração da ocupação entre edificações com quatro ou seis pessoas. Ressalta-se também que, nos custos por pessoa e dentro de uma mesma cor de parede externa, a garagem aparece como elemento de maior impacto, já que, apesar de não haver aumento de pessoas ou de área condicionada pela adição da garagem, ela impacta nos fluxos de calor da sala, alterando sua ventilação natural e gerando aumento das temperaturas operativas. Também, como para as cargas térmicas, existe uma predominância de maiores valores de consumo e custo para as edificações com maiores valores de absorvência à radiação solar.

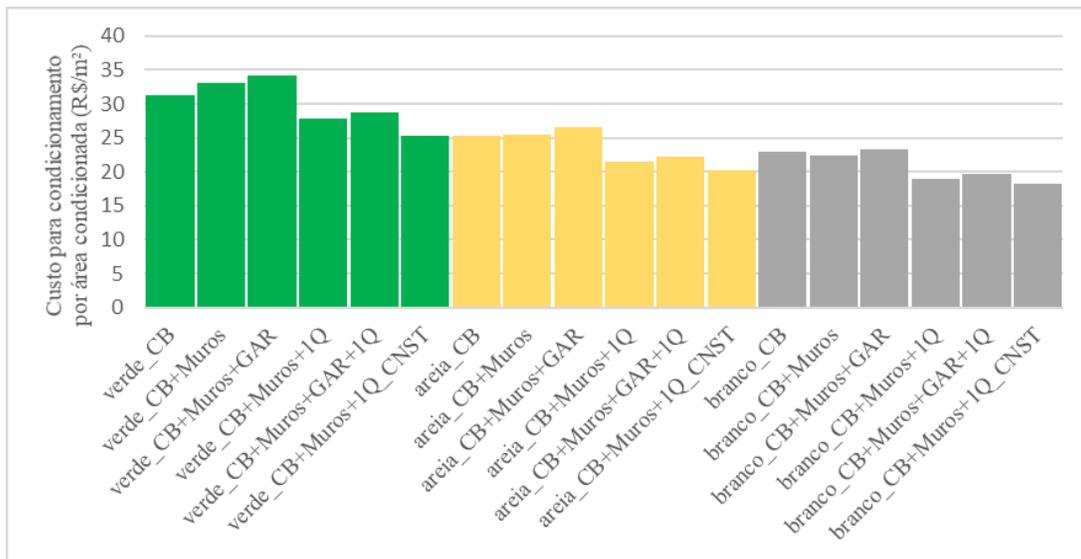
Figura 31 - Custos relativos à eletricidade para condicionamento, valores mensais e por habitante da UH



Apesar de a solução de ampliação proposta pela construtora apresentar menor custo anual para condicionamento, isso é, mais uma vez, consequência da menor área de sala existente nessa solução. Os custos por pessoa são reduzidos quando se adiciona um dormitório (e com isso considera-se duas pessoas a mais), ou quando se reduz área da sala, já que o as cargas térmicas por m² nos dormitórios são sempre menores que as da sala. Há, por exemplo, custo de R\$ 8,56 por pessoa, por mês no caso “branco_CB+Muros+1Q_CNST” e R\$ 24,47 por pessoa, por mês no caso “verde_CB+Muros+GAR”.

Também os custos por m² condicionado são menores quando há adição de quartos, ou redução da área da sala, conforme ilustrado na Figura 32. Os extremos nos custos por área condicionada são os mesmos quando se considera os custos por pessoa. No caso “branco_CB+Muros+1Q_CNST” há o custo de R\$ 18,23 por m² por ano, enquanto no caso “verde_CB+Muros+GAR” esse valor é de R\$ 34,08.

Figura 32 - Custo da eletricidade para condicionamento por m² condicionado



4.5 RESULTADOS PARA O ARQUIVO CLIMÁTICO INMET

Conforme descrito no item 3.2, além do arquivo climático do tipo TMYx do período de 2004 a 2018, foram também realizadas, para fins de comparação e classificação do desempenho térmico conforme a NBR 15575-2021, simulações computacionais com o arquivo climático do tipo INMET. Os resultados são apresentados na Tabela 13.

Nota-se que a principal diferença entre os resultados dos casos simulados com o arquivo TMYx e aqueles com os casos INMET são relativos às temperaturas operativas mínimas. No entanto, ainda que as temperaturas mínimas presentes no arquivo climático INMET sejam menores, as cargas térmicas resultaram em valores semelhantes, visto que em ambos os casos elas são predominantes para resfriamento dos ambientes. Aponta-se ainda que, embora haja aumento das temperaturas operativas mínimas, o uso do arquivo climático INMET também proporcionou resultados cuja diferença de temperatura operativa mínima entre a condição real e sua respectiva condição de referência foi superior a 1°C, desqualificando esses casos quanto ao nível de desempenho térmico.

Tabela 13 - Classificação dos casos conforme o arquivo climático INMET

Modificação	PHFT (%)	CgTT (kWh)	Tomín (°C)	Tomáx (°C)	ΔTomín real e referência (°C)	Classificação INMET
verde_CB	70.4	2939	16.5	33.4	-1.1	Não atende aos requisitos da NBR 15575
verde_CB+Muros	71	2708	16.6	33.2	-1	intermediário
verde_CB+Muros+GAR	70.4	2743	16.8	33	-1	intermediário
verde_CB+Muros+1Q	73.7	2969	16.4	33.1	-0.9	intermediário
verde_CB+Muros+GAR+1Q	72.9	3014	16.5	32.9	0	mínimo
verde_CB+Muros+1Q_CNST	74.9	2340	16.9	33.5	-1	intermediário
areia_CB	74.5	2419	16.3	32.6	-1.3	Não atende aos requisitos de Δ TOMín da NBR 15575
areia_CB+Muros	75.3	2184	16.3	32.3	-1.3	Não atende aos requisitos de Δ TOMín da NBR 15575
areia_CB+Muros+GAR	74.6	2248	16.5	32.2	-1.3	Não atende aos requisitos de Δ TOMín da NBR 15575
areia_CB+Muros+1Q	77.9	2389	16.2	32.3	-1.1	Não atende aos requisitos de Δ TOMín da NBR 15575
areia_CB+Muros+GAR+1Q	77.3	2448	16.3	32.2	-0.2	superior
areia_CB+Muros+1Q_CNST	78.5	1921	16.7	32.6	-1.2	Não atende aos requisitos de Δ TOMín da NBR 15575
branco_CB	76.1	2205	16.2	32.2	-1.4	Não atende aos requisitos de Δ TOMín da NBR 15575
branco_CB+Muros	76.9	1986	16.2	31.9	-1.4	Não atende aos requisitos de Δ TOMín da NBR 15575
branco_CB+Muros+GAR	76.3	2049	16.4	31.9	-1.4	Não atende aos requisitos de Δ TOMín da NBR 15575
branco_CB+Muros+1Q	79.5	2160	16.1	31.9	-1.2	Não atende aos requisitos de Δ TOMín da NBR 15575
branco_CB+Muros+GAR+1Q	78.9	2231	16.2	32	-0.3	superior
branco_CB+Muros+1Q_CNST	79.9	1763	16.6	32.3	-1.3	Não atende aos requisitos de Δ TOMín da NBR 15575

5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o impacto das modificações pós-ocupação no desempenho térmico de habitações de interesse social em Uberlândia-MG. Foram consideradas, a partir de levantamentos, seis modificações, com três diferentes cores de paredes externas, totalizando dezoito variações. Além das diferenças no desempenho térmico, os impactos das modificações sobre os custos relativos ao consumo energético para condicionamento do ar foram mensurados. A metodologia para a obtenção do nível de desempenho térmico das edificações e cálculo das cargas térmicas para condicionamento foi baseada na NBR 15575-1 (ABNT, 2021).

As seis variações geométricas consideradas, foram: caso base (CB), caso base com adição de muros (CB+Muros), caso base com adição de muros e garagem (CB+Muros+GAR), caso base com adição de muros e quarto na parte posterior (CB+Muros+1Q), combinação das modificações anteriores (CB+Muros+GAR+1Q) e a proposta de ampliação da construtora (CB+Muros+1Q_CNST), todas consideradas nas cores de paredes externas verde, areia e branco.

Para o desempenho térmico, foi possível concluir que as modificações na geometria da edificação foram relevantes, mas nem sempre negativas, já que houve casos em que as edificações modificadas pelos usuários obtiveram nível de desempenho térmico superior quando comparado ao caso base ou o projeto de ampliação proposto pela construtora.

Quanto à adição da garagem, observa-se um aumento das temperaturas operativas, com acréscimo de cargas térmicas e piora do PHFT, mas que no caso “branco_CB+Muros+GAR+1Q”, ainda assim proporcionou o nível desempenho térmico superior. Com a adição de um quarto, sem garagens (CB+Muros+1Q), observou-se a melhora do nível de desempenho térmico em relação ao caso base com muros. Com quartos adicionais, observa-se uma mudança na distribuição de cargas térmicas, com redução da proporção de cargas nas salas e aumento das cargas dos quartos. Os quartos apresentaram maiores valores de PHFT em relação às salas, e assim a adição de um quarto leva ao aumento no PHFT das UHs, o que contribui para o aumento do nível de desempenho térmico.

Apesar das modificações na geometria, o desempenho térmico das UHs foi muito impactado pela mudança nas cores das paredes externas. Para a modificação com a

consideração de muros, garagem e quarto adicional (CB+Muros+GAR+1Q), por exemplo, resultou em um nível de desempenho térmico “Mínimo” para a edificação com cor de parede externa verde, um nível de desempenho “Intermediário” para parede externa na cor areia, e um nível de desempenho térmico “Superior” para a edificação com paredes externas brancas.

Para as edificações com paredes externas nas cores areia e branco, destacam-se casos com elevada redução de carga térmica e incremento de PHFT em relação ao caso de referência, mas que, por mínimas diferenças, foram reprovados quanto ao critério de temperatura operativa mínima, e consequentemente, reprovados nos critérios para a obtenção do desempenho térmico mínimo. Na cor verde, apesar de haver edificações com desempenho mínimo, não houve nenhum caso em que a temperatura operativa mínima das unidades habitacionais reais apresentasse valores inferior às condições de referência. Nos casos cuja temperatura operativa foi mais de um grau abaixo da temperatura operativa mínima da condição de referência houve reduções de carga térmica acima de 40%, incrementos de PHFT de até 14,8%, e os percentuais de horas de ocupação com temperaturas inferiores à faixa de temperatura operativa nunca ultrapassaram 1%, o que parece indicar uma restrição excessiva por parte da norma quanto à redução de temperatura operativa mínima.

Na avaliação do desempenho térmico e do consumo energético, além das modificações dos elementos do entorno da edificação, percebeu-se que é essencial avaliar mudanças nas áreas dos quartos e das salas, visto que, para as condições climáticas de Uberlândia, a maior parte das cargas térmicas será de resfriamento, e na sala. Assim, apesar do benefício da adição de novos quartos, a proposta de ampliação da construtora pode ter melhores indicadores de desempenho térmico e de consumo, já que tem área de sala reduzida em relação ao caso base.

Em suma, as edificações com o pior desempenho térmico, foram aquelas que não atingiram o desempenho térmico mínimo pelo não atendimento do critério de redução da temperatura operativa mínima. Em seguida, as edificações de cor de parede externa obtiveram o nível mínimo de desempenho com a adição isolada de muros (verde_CB+Muros) e nos casos com adição de garagem. Os casos da proposta de ampliação da construtora (CB+Muros+1Q_CNST) obtiveram importantes reduções de carga térmica e PHFT em relação ao caso base, com desempenho térmico superior com paredes na areia e intermediário com paredes na cor verde, mas a ampliação da construtora com paredes externas na cor

branca estava no grupo de edificações que não atingiram o nível mínimo de desempenho térmico.

A melhora ou piora do desempenho térmico das edificações variaram conforme os casos estudados, mas os resultados do trabalho apontaram para impactos negativos no que diz respeito às cargas térmicas, quando analisadas as modificações que não seguiram o projeto de ampliação proposto pela construtora. Entre o caso de maior e menor carga térmica, há uma diferença de 98%, apesar de tanto o caso com maior carga térmica (verde_CB+Muros+GAR+1Q), quanto o de menor (branco_CB+Muros+1Q_CNST) possuírem três quartos e serem ocupados por seis pessoas.

A mudança das cores das paredes externas da edificação também se mostrou a ação de maior impacto sobre a carga térmica das habitações e consequente maior impacto no custo para condicionamento. Quanto às cores, ainda que a construtora tenha em vista a singularização das habitações, para as cargas térmicas há notório prejuízo naquelas moradias entregues com paredes externas pintadas em cores com absorvância à radiação solar mais elevadas, já que essas, quando comparadas às edificações com paredes de absorvâncias mais baixas, obtiveram sempre maiores cargas térmicas e maiores custos para condicionamento. Dentre edificações iguais geometricamente, mas com cores diferentes, a maior diferença percentual ocorre entre as edificações com adição de muros, garagem e quarto na parte posterior (CB+Muros+GAR+1Q): entre a edificação com parede externa de cor branca e a de cor verde, há 46% de aumento de carga térmica apenas pela mudança da cor.

Apesar da entrega de um projeto de ampliação das edificações, não há qualquer orientação aos moradores acerca de possíveis impactos que a mudança nas cores da edificação pode gerar. Uma vez que as construtoras são responsáveis pela verificação da obediência às normas vigentes, incluindo a aplicação da NBR 15575-1, e a variação da coloração dessa edificação deve ser objeto de estudo, e pode fazer parte das orientações aos futuros usuários, que demonstram o desejo por habitações com menor custo de operação.

Outro fato relevante que deve ser observado neste estudo é o porquê de os moradores do Residencial Pequis, na prática, não seguirem o projeto de ampliação entregue pela construtora. Excluídas todas as possíveis dificuldades técnicas para a execução desse projeto, nota-se que a demanda dos usuários por garagens ou varandas frontais, será prioritária à adição de um quarto nessa porção do terreno. A ampliação proposta pela construtora poderia

dificultar a acomodação de mais de um veículo, ou ainda, com a extensão da sala na porção frontal, aproximando-se da rua, gerar problemas de perda de privacidade ou no desempenho acústico da UH.

Também o projeto arquitetônico original da habitação deve ser criticado quanto à impossibilidade de expansão para os fundos, sem o prejuízo da perda de uma janela no dormitório. Em edificações com paredes de concreto autoportantes, como é o caso deste estudo, a demolição de paredes e reposicionamento de aberturas torna-se inviável caso não haja previsão em projeto. Uma vez que existe o conhecimento sobre a demanda por expansão, bem como pela construção de garagens ou varandas frontais, a ampliação deve ser pensada em outra direção que não seja a parte frontal do terreno das edificações.

Sob a perspectiva dos usuários, os possíveis aumentos dos custos para condicionamento das edificações, frente às modificações analisadas, são elevados. Valores de aumento de consumo mensal per capita que superam os R\$10,00 podem ser muito significativos, ainda mais quando a atual a média de consumo em habitações de interesse social de Uberlândia, mesmo sendo baixa, já gera inadimplência, e essa inadimplência, em alguns casos, pode levar até à evasão dos moradores.

Os caminhos para evitar futuros problemas nas habitações passam pela aplicação do conceito de flexibilidade na habitação. Quanto à flexibilidade, as paredes de concreto, apesar de seus muitos pontos positivos, como a redução do tempo de construção, redução de resíduos e de custos, sua consideração se torna inviável quando não há a previsão das modificações em projeto, ou quando não há a real consideração das demandas dos futuros moradores, propondo-se projetos que não serão executados. Alterar um elemento estrutural é algo muitas vezes impossível, ou fora do alcance técnico ou financeiro dos moradores de habitações de interesse social.

Apesar das críticas ao projeto da edificação estudada, e das classificações de desempenho térmico obtidas para cada variação, é necessário reforçar que essas edificações foram entregues em 2016, e quaisquer avaliações que possam ter sido realizadas pelos técnicos responsáveis seguiram normas e informações disponíveis à época, não sendo, portanto, desqualificadas pelas avaliações expostas neste trabalho. Ademais, pontua-se que nas simulações realizadas com arquivos climáticos INMET houveram resultados de classificação de desempenho térmico distintos daqueles relativos aos arquivos TMYx. No

entanto, em ambos a principal problemática foi relativa às temperaturas operativas mínimas, com limites extravasados em apenas décimos de graus centígrados, reforçando a necessidade da revisão dessa restrição em climas com poucos dias frios (pouca demanda de aquecimento e baixo PHiFT).

Finalmente, é preciso ressaltar que as análises aqui apresentadas, apesar de encontrarem reforço em embasamentos teóricos, não podem necessariamente ser estendidas a todas as habitações de interesse social do Brasil. Os resultados indicam, no entanto, que é preciso avaliar as necessidades dos usuários, já que o não atendimento dessas pode gerar, dentre outros, redução no nível de desempenho térmico das habitações e aumento significativo nos custos relativos à eletricidade para condicionamento dos ambientes.

Há uma enorme demanda por HIS no Brasil, e, mesmo com as distintas demandas existentes por parte dos futuros usuários, muitas delas são comuns e os danos ao seu não atendimento são conhecidos. Isso reforça a importância da consideração dessas demandas em fases projetuais, a fim de que o projeto atenda às necessidades dos usuários, seja executável, e não cause futuros prejuízos à habitação e seus moradores.

Quanto às limitações do trabalho, pontua-se que foram avaliados apenas os impactos relativos ao desempenho térmico e suas métricas, como o PHFT, temperaturas operativas e cargas térmicas. Não foram avaliados quaisquer prejuízos ou ganhos relativos à iluminação nessas edificações, bem como análises de acústica ou qualidade do ar. Também, pelas condições do período de pandemia, não foi possível visitar as habitações do conjunto habitacional estudado, de forma que elementos como as cores das paredes externas, foram assumidos apenas por critérios de comparação visual. A ausência de visitas também não possibilitou que se explicasse, na visão dos próprios moradores, o porquê das expansões e o modo como elas são realizadas.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se:

- Realização de entrevistas com os moradores dos locais a serem estudados, a fim de detalhar tanto os elementos que serão considerados na edificação, quanto as demandas desses moradores;

- Associados às mudanças na habitação, determinar outros padrões de ocupação das edificações e aberturas de janelas, para que sejam detalhados os impactos desses usos no consumo das edificações;
- Verificar os diferentes impactos no desempenho térmico e consumo de edificações, com alterações geométricas, com o uso de diferentes arquivos climáticos de uma mesma cidade;
- Verificar os diferentes impactos no desempenho térmico e consumo de edificações, com alterações geométricas, com edificações inseridas em outros climas.

REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

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

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais - Desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

ABRAHÃO, Soraya Caroline. **Habitação de interesse social: Avaliação Pós-Ocupação no Programa Minha Casa Minha Vida**. 2017. - Universidade de Passo Fundo, [s. l.], 2017.

ADITYA, L. *et al.* A review on insulation materials for energy conservation in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 73, n. March, p. 1352–1365, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.034>

AFLAKI, Ardalan *et al.* A review on natural ventilation applications through building façade components and ventilation openings in tropical climates. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 101, p. 153–162, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.033>

AGENCIABRASIL - EMPRESA BRASIL DE COMUNICAÇÃO. **Organização Mundial da Saúde declara pandemia de coronavírus**. 2020. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2020-03/organizacao-mundial-da-saude-declara-pandemia-de-coronavirus>. Acesso em: 20 maio 2020

ALAJMI, Ali; ABOU-ZIYAN, Hosny; GHONEIM, Adel. Achieving annual and monthly net-zero energy of existing building in hot climate. **Applied Energy**, [S. l.], v. 165, n. 2016, p. 511–521, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.073>

ALLOCCA, Camille; CHEN, Qingyan; GLICKSMAN, Leon R. Design analysis of single-sided natural ventilation. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 35, n. 8, p. 785–795, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00239-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00239-6)

ALMEIDA, Amanda Silva et al. IMPLICAÇÕES ESPACIAIS DA CRISE URBANA EM UBERLÂNDIA-MG. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 9, n. 3, p. 287-312, 2018.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 878 de 24 de março de 2020**. Medidas para preservação da prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica em decorrência da calamidade pública atinente à pandemia de coronavírus (COVID-19). Brasília, 2020a. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-n-878-de-24-de-marco-de-2020-249621270>. Acesso em: 20 jun. 2021

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 885 de 23 de junho de 2020**. Dispõe sobre a CONTA-COVID, as operações financeiras, a utilização do encargo tarifário da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) para estes fins e os procedimentos correspondentes. Brasília, 2020b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-n-885-de-23-de-junho-de-2020-263039015>. Acesso em: 21 jun. 2021

ARAGÃO, Danilton Luis Lima Jesus de; HIROTA, Ercília Hitomi. Sistematização de requisitos do usuário com o uso da Casa da Qualidade do QFD na etapa de concepção de unidades habitacionais de interesse social no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 271–291, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000400118>

ARAÚJO, Geovanna Moreira; VILLA, Simone Barbosa. A relação entre bem-estar e resiliência na habitação social: um estudo sobre os impactos existentes. **Ambiente Construído**, v. 20, p. 141-163, 2020.

BERLEZE, Angélica Saccol; SILVOSO, Marcos Martinez; SILVA JUNIOR, Julio Cesar Araujo da. Post-Occupancy Evaluation in a Medium City of Santa Catarina: Perceptions about the Users' Satisfaction and Needs. **Revista Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura**, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 107–126, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/cadernosarquitetura.v19n1p107-126>

BESEN, Priscila; WESTPHAL, Fernando Simon. Uso de vidro duplo e vidro laminado no Brasil: avaliação do desempenho energético e conforto térmico por meio de simulação computacional. **XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, [S. l.], n. 1, p. 2820–2826, 2012.

BODACH, Susanne; HAMHABER, J. Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil. **Energy Policy**, [S. l.], v. 38, n. 12, p. 7898–7910, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.009>

BOGO, Amilcar José. Avaliação Pós-Ocupação Das Condições De Habitação Em Conjuntos Habitacionais Do Pmcmv Em Blumenau Sc. **Holos**, [S. l.], v. 8, p. 59–71, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.15628/holos.2018.7210>

BORTOLI, Karem Carrer Ruman de. Avaliando a resiliência no ambiente construído: adequação climática e ambiental em habitações de interesse social no Residencial Sucesso Brasil (Uberlândia/MG). 2020. 282 f. **Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)** - Universidade Federal de Uberlândia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/23297/1/AvaliandoResilienciaAmbiente.pdf>.

BRANDÃO, Douglas Queiroz. Disposições técnicas e diretrizes para projeto de habitações sociais evolutivas. **Ambiente Construído**, v. 11, p. 73-96, 2011.

BRASIL, Ministério das Cidades. **Portaria nº 13, de 6 de janeiro de 2017**. Dispõe sobre o Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil - SiAC. Brasília: Diário Oficial da União, ed. 6, 6 jan. 2017. Disponível em: http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/50484132/do1-2018-11-16-portaria-n-660-de-14-de-novembro-de-2018-50483803. Acesso em: 23 ago. 2020.

BRASIL, Ministério das Cidades. **Portaria nº 660, de 14 de novembro de 2018**. Dispõe sobre as diretrizes para a elaboração de projetos e estabelece as especificações técnicas mínimas da unidade habitacional e as especificações urbanísticas dos empreendimentos destinados à aquisição e alienação com recursos advindos da integralização de cotas no Fundo de Arrendamento Residencial - FAR, e contratação de operações com recursos transferidos ao Fundo de Desenvolvimento Social - FDS, no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida PMCMV. Brasília: Diário Oficial da União, ed. 220, 16 nov. 2018a. Disponível em: http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/50484132/do1-2018-11-16-portaria-n-660-de-14-de-novembro-de-2018-50483803. Acesso em: 21 ago. 2020.

BRASIL, Ministério das Cidades. **Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H**. Brasília, 2018b. Disponível em: http://pbqp-h.mdr.gov.br/pbqp_apresentacao.php. Acesso em: 13 jul. 2019.

BRASILEIRO, Alice; MORGADO, Claudio; LUZ, Carolina. Conjunto Do Pmcmv No Rj : Razões Da (in) Eficiência Energética No Decorrer De Sua Vida Útil. *In*: 2017, **XIV ENCAC, X ELACAC, Balneário Camboriu**. [S. l.: s. n.] p. 1318–1327.

CARDOSO, Adauto Lucio *et al.* A retomada das remoções no Rio de Janeiro e o Programa Minha Casa Minha Vida. *In*: CARDOSO, Adauto lucio; JAENISCH, Samuel Thomas; ARAGÃO, Thêmis Amorim (org.). **22 anos de política habitacional no Brasil: da euforia à crise**. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2016. *E-book*.

CARVALHO, PAULA PEREIRA. **Desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social com paredes de concreto armado na zona bioclimática 2 brasileira**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil e ambiental). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

CASTAÑO, Hector Fabian Marin. Impacto de dispositivos de sombreamento externos e muro na ventilação natural e no desempenho térmico de uma habitação de interesse social térrea. 2017. **Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia)** - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. doi:10.11606/D.102.2017.tde-04092017-125132. Acesso em: 11 nov. 2020

CEF - CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Minha Casa Minha Vida - Habitação Urbana**. 2020. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/urbana/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 12 jul. 2020.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Valores de tarifas e serviços**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>. Acesso em: 10 set. 2021.

CHAVES, Gabriel Augusto da Silva. Segregação Socioespacial e Programa "Minha Casa, Minha Vida": uma análise do Residencial Pequis em Uberlândia-MG. 2020. 153 f. **Dissertação (Mestrado em Geografia)** - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.319>.

CHEN, Yujiao; TONG, Zheming; MALKAWI, Ali. Investigating natural ventilation potentials across the globe: Regional and climatic variations. **Building and Environment**, [S. l.], v. 122, p. 386–396, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.026>

CHVATAL, Karin Maria Soares. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 14, n. 4, p. 119–134, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212014000400009>

CNM - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS. **CNM faz análise dos 10 anos do Minha Casa, Minha Vida**. 2019. Disponível em:

<https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/cnm-faz-analise-dos-10-anos-do-minha-casa-minha-vida>. Acesso em: 20 ago. 2020.

CONCEIÇÃO, Priscilla Assis; IMAI, César; URBANO, Mariana Ragasi. Captura E Hierarquização De Requisitos Do Cliente De Habitação De Interesse Social a Partir Da Avaliação Pós-Ocupação E Da Técnica De Preferência Declarada. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 79, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/gtp.v10i1.98795>

COSTA, Isabely Penina Cavalcanti da. Influência de muros vazados laminados no desempenho da ventilação natural em habitações de interesse social. 2019. 142 f. **Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado)** - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

DA SILVA, Alvaro Caldeira e. Ros.; CALADO, Claudinei Rezende. Thermal and optical behavior dataset of surfaces coated with high reflectance and common materials under different conditions, used in Brazil. **Data in Brief**, [S. l.], v. 30, p. 105445, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105445>

DE ANDRADE ROMÉRO, Marcelo; ORNSTEIN, Sheila Walbe (org.). **Avaliação Pós Ocupação: Métodos e Técnicas Aplicados à Habitação Social**. Porto Alegre: HABITARE, 2003. *E-book*.

ELETROBRAS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso: ano-base 2005 - Classe Residencial**. Rio de Janeiro: Eletrobras, Procel, 2007.

ELETROBRAS. **Pesquisa de posse e hábitos de uso de equipamentos elétricos na classe residencial**. Relatório Técnico, 2019. Eletrobras, Procel, 2019. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao>. Acesso em: 23 nov. 2019.

ELI, Leticia Gabriela. et al. Análise de Sensibilidade e Incertezas dos Parâmetros Relacionados à Modelagem do Contato do Piso com o Solo no Programa EnergyPlus. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2019a, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, PB: ANTAC, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2019.

ELI, Leticia Gabriela et al. **Manual de Simulação Computacional de Edifícios com o Uso do Objeto Ground Domain no Programa EnergyPlus - Versão 9.0.1**. 2020b. Florianópolis, Brasil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE)

ELI, Leticia Gabriela. O Impacto do Padrão de Uso no Desempenho Térmico de Edificações Unifamiliares no Brasil. 2020. 99 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)** - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/216396>. Acesso em: 1 set. 2020.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Nota Técnica. 030/2018–Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética (Technical Note EPE 030/2018–Use of Air Conditioning in the Brazilian Residential Sector: Perspectives and contributions to the advancement in energy efficiency). **EPE, Brasília**, 2018.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Energia 2029 - Demanda de Energia Elétrica**. 2019. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-423/topico-481/02_Demanda_de_Energia.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2020: Ano Base 2019. Balanco Energético Nacional**. 2020. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional->

2020>. Acesso em: 1 dez. 2020.

FJP - FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil 2009** / Fundação João Pinheiro, Centro de Estatística e Informações. - Belo Horizonte, 2012.

FJP - FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional municipal no Brasil**. / Fundação João Pinheiro. Centro de Estatística e Informações - Belo Horizonte, 2013.

FJP - FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil – 2016-2019** / Fundação João Pinheiro. – Belo Horizonte: FJP, 2021.

FOSAS, Daniel *et al.* Mitigation versus adaptation: Does insulating dwellings increase overheating risk? **Building and Environment**, [S. l.], v. 143, n. May, p. 740–759, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.033>

GAGO, E. J. *et al.* Natural light controls and guides in buildings. Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 41, p. 1–13, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.002>

GOOGLE EARTH. **Cidade de Uberlândia, bairro Residencial Pequis, Coordenadas 18,97°S e 48,39°W**. Disponível em:

https://earth.google.com/web/search/residencial+pequis+uberl%C3%A2ndia/@-18.97456227,-48.3845551,856.37357219a,918.89975319d,35y,33.46893568h,44.32276207t,359.99999915r/data=CokBG18SWQolMHg5NGE0NDJiYjRkOTYwOTI3OjB4YWE3YjQzN2JhY2Q5Nzc1MBnR9MjVfvkywCGtCbMaXDFIwCoemVzaWRlbnNpYWwgcGVxdWlzIHViZXJsw6JuZGhGAEGASImCiQJ36u3VaNdM0AR26u3VaNdM8AZ_rMVSsjGQUAhLA9LY0w1UMA. Acesso em: 10 jul. 2021.

GUARDA, Emeli Lalesca Aparecida da *et al.* Estratégias Construtivas Para Adequação da Envolvória de uma Habitação de Interesse Social às Zonas Bioclimáticas Mato-Grossenses. **E&S Engineering and Science**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 45, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18607/es201876138>

HENTSCHKE, Cynthia S. *et al.* A method for proposing valued-adding attributes in customized housing. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 6, n. 12, p. 9244–9267, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su6129244>

HERNÁNDEZ, Diana; PHILLIPS, Douglas. Benefit or burden? Perceptions of energy efficiency efforts among low-income housing residents in New York City. **Energy Research and Social Science**, [S. l.], v. 8, p. 52–59, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.04.010>

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The Future of Cooling: Opportunities for Energy Efficient Air Conditioning**. Paris. OECD/IEA, 2018

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade Para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais. RTQ-R**. Portaria n.18, de 16 de janeiro de 2012. Rio de Janeiro, 2012.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Portaria n.º 50, de 01 de fevereiro de 2013. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Anexo geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. Rio de Janeiro, 2013

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. CONSULTA PÚBLICA Nº 18, DE 12 DE JULHO DE 2021 **Proposta de alteração da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em:

<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002807.pdf>. Acesso em: 6 set. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberlandia/panorama> Acesso em: 6 set. 2020.

INVIDIATA, Andrea; GHISI, EneDir. Life-cycle energy and cost analyses of window shading used to improve the thermal performance of houses. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 133, p. 1371–1383, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.072>

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Pesquisa de satisfação dos beneficiários do Programa Minha Casa Minha Vida**. Relatório Técnico. Brasília, 2014

IQBAL, Ahsan *et al.* Discharge coefficient of centre-pivot roof windows. **Building and Environment**, [S. l.], v. 92, p. 635–643, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.034>

JAZAERI, Javad; GORDON, Robert L.; ALPCAN, Tansu. Influence of building envelopes, climates, and occupancy patterns on residential HVAC demand. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 22, n. November 2018, p. 33–47, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.11.011>

JIN, Ruiqiu *et al.* Numerical investigation of wind-driven natural ventilation performance in a multi-storey hospital by coupling indoor and outdoor airflow. **Indoor and Built Environment**, [S. l.], v. 25, n. 8, p. 1226–1247, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1420326X15595689>

JORGE, LIZIANE DE OLIVEIRA *et al.* A transformação espontânea das unidades habitacionais do loteamento Anglo em Pelotas/RS: Reflexões sobre a urgência do conceito de Habitação Social Evolutiva. **Cadernos PROARQ**, v. 29, p. 122-153, 2017.

KAMIMURA, Artur Martins *et al.* EDIFICAÇÕES DE ENERGIA ZERO : USO DAS CORES COMO ESTRATÉGIA PARA A REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ZERO ENERGY BUILDINGS : USE OF COLORS AS A STRATEGY TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION. **Mix Sustentável**, [S. l.], v. v.6, p. 99–110, 2020. Disponível em: <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n2.99-110>

KAPITZKY, S. H. A; MUNIZ, A. F.; CUNHA, C. A. F. Habitação Mínima Contemporânea: Análise de Parâmetros Ergonômicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2019, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019. p. 320-332. DOI <https://doi.org/10.14393/sbqp19031>.

KM - KM GESTÃO PÚBLICA E PROJETOS SOCIAIS. **Relatório interno: Pesquisa de satisfação no Residencial Pequis em Uberlândia**. Uberlândia, Brasil, 2020.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. *et al.* A critical analysis of research of a mass-housing programme. **Building Research and Information**, [S. l.], v. 47, n. 6, p. 716–733, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09613218.2018.1458551>

KUHN, G. ; ORDENES, M.. Análise da Influência da Ventilação Natural no Comportamento Térmico Interno de Um Ambiente. In: Xiv Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2017, Balneário Camboriú. **Anais do Xiv Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 2017.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª edição ed. ELETROBRAS/PROCEL: Rio de Janeiro, 2014: [s. n.], 2014. *E-book*.

LEI, Jiawei; YANG, Jinglei; YANG, En Hua. Energy performance of building envelopes integrated with phase change materials for cooling load reduction in tropical Singapore. **Applied Energy**, [S. l.], v. 162, p. 207–217, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.031>

MDR - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Casa Verde e Amarela: saiba o que muda com o novo programa**. 2020a. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/casa-verde-e-amarela/saiba-o-que-muda-com-o-novo-programa>. Acesso em: 10 out. 2020.

MDR - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Programa Minha Casa Minha Vida – **Contratações Brasil (2009 – 2019)**. 2020b. Disponível em: http://sishab.mdr.gov.br/novo_executivo/filtro_. Acesso em: 11 jul. 2020.

MENDONÇA, Rafaela Nunes; VILLA, Simone Barbosa. **Apartamento mínimo contemporâneo – Desenvolvimento do conceito de uso como chave para obtenção de sua qualidade**. V. 16 N. 4, Mai, 2016. Revista Ambiente Construído.

MEDRADO, Gustavo. **Tchau aluguel não surte efeito contra o déficit habitacional em Uberlândia**. 2021. Disponível em: <https://www.agenciaconexoes.org/tchau-aluguel-nao-surte-efeito-contr-o-deficit-habitacional-em-uberlandia/>. Acesso em: 10 jul. 2021.

MELO, Ana Paula *et al.* IS THERMAL INSULATION ALWAYS BENEFICIAL IN HOT CLIMATE ? Energy Efficiency in Buildings Laboratory , Federal University of Santa Catarina , Energy Simulation Solutions Limited , Leicester , United Kindom. **Building Simulation Conference**, [s. l.], p. 1353–1360, 2015.

MELO, A. P. *et al.* Development and analysis of a metamodel to represent the thermal behavior of naturally ventilated and artificially air-conditioned residential buildings. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 112, p. 209–221, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.021>

MERISIO, Bruna; SANTOS, Cynthia Marconsini L; JORGE, Liziane de O. Modificação da habitação: Uma avaliação pós-ocupação no conjunto habitacional de interesse social Ewerton Montenegro Guimarães em Vila Velha-ES. **Anais Encontro Latino-Americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, Euro-ELECS 2017, São Leopoldo, 2017.

MEUSEL, Marina Dal Zot von. Investigação da simulação computacional de desempenho energético integrada às etapas iniciais do processo de projeto. 2016. 207 f. **Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)** - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/174686>. Acesso em: 1 jun. 2021.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**. Mar. 2020. Acessado em 13 jun. 2021. <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/2020/03-boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico-mar-2020.pdf/view>

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**. Mar. 2021. Acessado em 13 jun. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/2021/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico-mar-2021.pdf/view>

MORENO, Ana Cecília Rodrigues. **MINHA CASA MINHA VIDA: ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO PELA NBR 15.220-3, NBR 15.575, SELO CASA AZUL E RTQ-R**. 2013. - Universidade Federal de Minas Gerais, [s. l.], 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

MUNIZ-GÄAL, Lígia Parreira *et al.* Eficiência térmica de materiais de cobertura. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 503–518, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000100235>

NETO, JOSÉ JOÃO DE ANDRADE; **AValiação Pós-ocupação (APO) em Empreendimento Minha Casa, Minha Vida com ênfase na Satisfação**

DO USUÁRIO. 2019. [s. l.], 2019.

OLINGER, Marcelo Salles. Predição de conforto térmico em escritórios ventilados naturalmente por meio de redes neurais artificiais. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)** - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/215263>. Acesso em: 10 dez. 2020.

OLIVEIRA, M. C. A. de. **Simulação computacional para avaliação dos efeitos das modificações em casas autoconstruídas sobre a ventilação.** Campinas, 2009. 166 f. Doutorado em Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo Universidade Estadual de Campinas.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Avaliação das Condições de Atendimento Eletroenergético do Sistema Interligado Nacional - Estudo Prospectivo Julho a Novembro de 2021.** Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/CTA-ONS%20DGL%201496-2021%20-%20Avalia%20a%70%20das%20Condi%20a%70%20b5es%20de%20Atendimento%20Eletroenerg%20a%9tico%20do%20Sistema%20Interligado%20Nacional%20-%20SIN.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.

ORSI, Rafael Alves. Paisagens em movimento: transformações pós-ocupação nos conjuntos habitacionais do Programa Minha Casa Minha Vida. **Novos Cadernos NAEA**, v. 23, n. 1, 2020.

ORTIZ, Hamilton; BAVARESCO, Mateus. **Metodologia para Elaboração do “Mapa de Tipologias e Sistemas Construtivos”.** 2019. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/biblioteca_snh/P2_GIZ-EEDUS_Metodologia-Mapa-Tipologias_Relatorio-Final_V0.pdf. Acesso em: 14 jul. 2020.

PAPADOPOULOS, A. M. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 37, n. 1, p. 77–86, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.05.006>

PARREIRA, Fernanda Vilela Martins; VILLA, Simone Barbosa. RESILIÊNCIA NA HABITAÇÃO SOCIAL: AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS RELACIONADOS A SUA (IN) FLEXIBILIDADE. In: **VI Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo.** 2020.

PMU - PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA. Plano Local de Habitação de Interesse Social de Uberlândia. **Diagnóstico Estratégico de Habitação de Interesse Social**, 2009.

RACKES, Adams; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. Naturally comfortable and sustainable: Informed design guidance and performance labeling for passive commercial buildings in hot climates. **Applied Energy**, [S. l.], v. 174, p. 256–274, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.081>

RAMPONI, Rubina *et al.* CFD simulation of outdoor ventilation of generic urban configurations with different urban densities and equal and unequal street widths. **Building and Environment**, [S. l.], v. 92, p. 152–166, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.018>

RODRIGUES, Clara Ovídio de Medeiros; PEDRINI, Aldomar. Integração da simulação termoenergética nas primeiras fases do processo projetual: o estudo de seis casos. **Ambiente Construído**, v. 17, p. 245-266, 2017.

RORIZ, Maurício; GHISI, EneDir; LAMBERTS, Roberto. Uma Proposta de Norma Técnica Brasileira sobre Desempenho Térmico de Habitações Populares. In: 1999, Fortaleza. **V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído.** Fortaleza: [s. n.], 1999. p. 1–10.

ROSSI, Michele Marta *et al.* Metamodels to assess the thermal performance of naturally ventilated, low-cost houses in Brazil. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 204, p. 23–31, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109457>

ROSSI, Monica; ROCCO, Valeria Marta. External walls design: The role of periodic thermal transmittance and internal areal heat capacity. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 68, n. PART C, p. 732–740, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.049>

SADINENI, Suresh B.; MADALA, Srikanth; BOEHM, Robert F. Passive building energy savings: A review of building envelope components. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 15, n. 8, p. 3617–3631, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.014>

SANTAMOURIS, M. *et al.* On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 39, n. 8, p. 893–905, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.11.001>

SANTOS, Alan Roberto. Configuração de comunidade sustentável no Residencial Pequis: O uso do tempo associado à qualidade de vida. 2019. 154 f. **Dissertação (Mestrado em Geografia)** - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2150>

SARAMAGO, Rita De Cássia Pereira; VILLA, Simone Barbosa; PORTILHO, Gabriela Barros. Avaliação Funcional e Ambiental do PMCMV: O Caso Do Residencial Jardim Sucupira. **XVI Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**, São Paulo, n. iv, p. 3321–3336, 2016.

SILVA, Maria I. S.; GUIMARÃES, Ednaldo C.; TAVARES, Marcelo. Forecast of monthly mean temperatures in Uberlândia, Minas Gerais, Brazil using time series models. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 12, n. 5, p. 480–485, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1415-43662008000500006>.

SILVA, Arthur Santos; ALMEIDA, Laiane Susan Silva; GHISI, Enedir. Decision-making process for improving thermal and energy performance of residential buildings: A case study of constructive systems in Brazil. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 128, p. 270–286, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.084>

SILVA, Arthur Santos; ALMEIDA, Laiane Susan Silva; GHISI, Enedir. Análise de incertezas físicas em simulação computacional de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, v. 17, p. 289-303, 2017.

SILVA, Bruna Vieira *et al.* Diagnóstico técnico da infraestrutura pós-ocupação de regiões periféricas de marabá e proposta da criação de habitações de interesse social (HIS) nessas regiões. **Technology Sciences**, v. 2, n. 1, p. 23-27, 2020.

SOUZA, Stephanie Rodrigues de. Manifestações patológicas em habitações de interesse social na cidade de Uberlândia-MG. 2018. 68 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

SUEHRCKE, Harry; PETERSON, Eric L.; SELBY, Neville. Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 40, n. 12, p. 2224–2235, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.06.015>

TEIXEIRA, Cristiano André. Aplicação do método bottom-up para estimativa de usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro. 2020. 120 f. **Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)** - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/216471>. Acesso em: 1 dez. 2020.

TUBELO, Renata et al. Cost-effective envelope optimisation for social housing in Brazil's moderate climates zones. **Building and Environment**, v. 133, p. 213-227, 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU. **A cidade de Uberlândia**. 2020. Disponível em: http://www0.ufu.br/catalogo_novo/idiomas/pt/cidade.htm. Acesso em: 20 de out. 2020.

VAN HOOFF, T.; BLOCKEN, B.; TOMINAGA, Y. On the accuracy of CFD simulations of cross-ventilation flows for a generic isolated building: Comparison of RANS, LES and experiments. **Building and Environment**, [S. l.], v. 114, p. 148–165, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.019>

VILLA, Simone Barbosa; SARAMAGO, Rita de Cássia Pereira; GARCIA, Lucianne Casasanta. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação pós-ocupação do Programa Minha Casa Minha Vida : aspectos funcionais, comportamentais e ambientais**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7196/1/td_2234.pdf<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7196>http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7196/1/td_2234.pdf.

VILLA, Simone Barbosa; STEFANI, Ana Carolina de Oliveira; OLIVEIRA, Natália Fleury Guedes de. Análise Da Flexibilidade No Programa “Minha Casa Minha Vida”: O Caso Do Loteamento Sucesso Brasil, Uberlândia. *In*: 2019, **Anais [...]**. [S. l.: s. n.] p. 892–905. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/sbqp19083>