

Gabriela Costa Holanda

**Desempenho energético, hídrico,
eficiência em materiais e emissão de
gases poluentes: Avaliação em
habitações de interesse social do
Programa Minha Casa, Minha Vida**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pelo Professor Dr. Luiz Maurício Furtado
Maués

Gabriela Costa Holanda

**Desempenho energético, hídrico, eficiência em
materiais e emissão de gases poluentes: Avaliação em
habitações de interesse social do Programa Minha Casa,
Minha Vida**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués

Belém, 03 de Junho de 2025.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C837d Costa Holanda, Gabriela.
Desempenho energético, hídrico, eficiência em materiais e
emissão de gases poluentes : Avaliação em habitações de interesse
social do Programa Minha Casa, Minha Vida / Gabriela Costa
Holanda, . — 2025.
222 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, Belém, 2025.
1. Construção Verde. 2. Certificação EDGE. 3. Demanda
hídrica. 4. Carbono incorporado. 5. Habitação de Interesse
Social. I. Título.



DESEMPENHO ENERGÉTICO, HÍDRICO, EFICIÊNCIA EM MATERIAIS E EMISSÃO DE GASES POLUENTES: AVALIAÇÃO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL DO PROGRAMA MINHA CASA, MINHA VIDA

AUTORA:

GABRIELA COSTA HOLANDA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL NA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM: 03 / 06 / 2025.

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
LUIZ MAURICIO FURTADO MAUES
Data: 17/06/2025 17:46:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués
Orientador (UFPA)

Documento assinado digitalmente
MAURICIO CARVALHO AYRES TORRES
Data: 17/06/2025 18:31:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Maurício Carvalho Ayres Torres
Membro Externo (UFRGS)

Documento assinado digitalmente
CARMINDA CELIA MOURA DE MOURA CARVALHO
Data: 18/06/2025 09:42:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Carminda Célia Moura de Moura Carvalho
Membro Externo (UFPA)

Documento assinado digitalmente
LUCIANA DE NAZARE PINHEIRO CORDEIRO
Data: 25/06/2025 09:53:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro
Membro Interno (UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Coordenador do PPGE / ITEC / UFPA

DEDICATÓRIA

Dedico essa Dissertação aos meus pais, Joselha Holanda e Ricardo Holanda e à minha querida irmã Marielle Holanda, amo vocês e celebro a vida de vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e à Jesus, pela oportunidade de realizar o Mestrado em Engenharia Civil na Universidade Federal do Pará (UFPA). Agradeço aos meus Pais, Joselha Holanda e Ricardo Holanda, e minha Irmã Marielle Holanda, pelo amor e pelo apoio desde o início de minha jornada na carreira na pesquisa científica, vocês estiveram comigo desde o PIBIC, me incentivando sempre, eu os amo muito. Agradeço à minha querida avó Elcy Holanda (Mainha), pelo seu amor e dedicação a mim e minha irmã. Agradeço meu orientador Professor Luiz Maurício Furtado Maués, pela sua dedicação e acompanhamento nesse trabalho, e pela sua amizade que abrilhantou essa etapa, foi muito bom contar com você. Agradeço aos meus amigos da Universidade Federal do Pará, que tornaram esta jornada ainda mais especial e acolhedora. Agradeço aos meus tios, em especial Ellen Akao, Atsuó Akao, Valderez Costa, Clarisse Moreira e Élcio Amaral (in memoriam), pela torcida sempre. Agradeço aos meus primos, em especial Henrique Holanda e Luiz Steven Holanda, pelo apoio. Agradeço às igrejas que congrego e me sinto amparada para essa jornada, em especial Paróquia de Santa Izabel, em nome do Padre Rúzevel, e Paróquia Nossa Senhora de Loreto. Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fomento à essa pesquisa, de grande importância para a minha vida pessoal e profissional. Agradeço à Universidade Federal do Pará, pelo acolhimento, pelo suporte, pela infraestrutura e pelo ensino, o qual é capaz de mudar e transformar a vida de seus alunos.

EPÍGRAFE

Jesus, filho de Davi.

RESUMO

As edificações e o setor da construção civil geram impactos no meio ambiente, levando as iniciativas governamentais e privadas a lançarem selos de construção verde (SCVs) a fim de orientar a indústria da construção civil e o ambiente construído no caminho da sustentabilidade. Paralelamente a isto, a construção civil deve lidar com a necessidade de habitação e as mudanças climáticas no contexto global. Tais alterações tendem a impactar principalmente as comunidades mais vulneráveis, como os beneficiários de habitações de interesse social (HISs). O presente trabalho, por meio de abordagem exploratória e descritiva, visou analisar habitações de interesse social do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), até o ano de 2021, quanto ao atendimento dos padrões da certificação de construção verde EDGE (Excelência em Projeto para Maior Eficiência). A coleta de dados foi realizada através das abordagens de levantamento e *Ex-post facto*, as quais foram empregadas em empreendimentos verticais pertencentes à faixa 1 do MCMV, na cidade de Belém/PA. As informações foram tratadas para serem inseridas de acordo com a entrada de dados da plataforma *on line* EDGE *app* (Aplicativo EDGE) a fim de simular as edificações, para isto foram utilizadas equações descritas neste trabalho. A análise dos dados foi realizada por meio do acompanhamento das mudanças nos percentuais de cada categoria (Energia, Água e Materiais) e nos quatro (4) gráficos delas, assim como os resultados obtidos nos quatro indicadores-chave de desempenho (KPIs) selecionados, os quais foram: EPI (Índice de Desempenho Energético) do “Caso-Base”; EPI do Caso-Aprimorado; Uso final de Água; Emissões finais operacionais de dióxido de carbono (CO₂) e Carbono incorporado final. Por meio desse estudo, foi possível notar que os empreendimentos verticais MCMV, localizados em Belém/PA, atendem as categorias Energia e Materiais, da certificação EDGE, no entanto apresentam desempenho hídrico negativo, não atingindo Categoria Água. Diante disso, o trabalho sugere intervenções como especificação de torneiras e chuveiros de baixo fluxo, ou a utilização de mecanismos de redução de vazão. O trabalho ainda apresenta quais estratégias construtivas colaboraram para o bom desempenho das categorias.

Palavras-chave: Carbono incorporado. Construção Verde. Demanda hídrica. Certificação EDGE. Habitação de Interesse Social.

ABSTRACT

Buildings and the construction sector have an impact in the natural environment, due to that, governmental and private initiatives released green building labels (GBSs) with the main objective to guide the construction industry for sustainability concepts. In this point of view, the building sector has to deal with climate changes and the housing necessity in a global context. Those changes tend to impact mainly the most vulnerable commonwealths, as well as the social housing (SH) beneficiaries. The document presented here, through a descriptive and exploratory *approach*, has as main purpose to analyze the social interested habitations from the Minha Casa Minha Vida (MCMV) program, completed by the year 2021, according to the requirements of EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies). Data collection was carried out using the survey and *Ex-post facto* *approaches*, which were employed in vertical developments belonging to MCMV band 1, in the city of Belém/PA. The information was processed to be entered into the online EDGE *app* in order to simulate the buildings, using the equations described in this document. The data was analyzed by monitoring the changes in the percentages of each category (Energy, Water and Materials) and their four (4) graphs, as well as the results obtained in the four selected key performance indicators (KPIs), which were: Base Case Energy Performance Index; Improved Case EPI; Final Water Use; Final Operational CO₂ Emissions and Final Embodied Carbon. Through this study, it was possible to verify that the vertical MCMV developments located in Belém/PA meet the Energy and Materials categories of the EDGE certification, but have a negative water performance, failing to meet the Water Category. In view of this, the work suggests interventions such as specifying low-flow faucets and showerheads, or the use of flow reduction mechanisms. The work also shows which construction strategies contributed to the good performance of the categories.

Keywords: Embodied Carbon. Green Building. Water demand. EDGE Certification. Social housing.

Lista de Figuras

Figura	Página
Figura 1 – Sistema EDGE.....	40
Figura 2 – Fluxograma das etapas do método de pesquisa do trabalho	50
Figura 3 – Destaque das cotas das lajes, exemplo no empreendimento A.....	59
Figura 4 – Fluxograma do procedimento “Levantamento Final”.....	60
Figura 5 – Captura de tela mostrando o gráfico “Consumo de água”	68
Figura 6 – Captura de tela mostrando o gráfico “Energia”	70
Figura 7 – Captura de tela mostrando o gráfico de “Emissões de carbono”	72
Figura 8 – Captura de tela mostrando o gráfico “Carbono Incorporado”.	73
Figura 9 – Captura de tela mostrando as principais abas e as barras de resultados	74
Figura 10 – Imagem da Cidade de Belém-Pará (contornada pela linha vermelha quadriculada), com indicação da localização dos objetos de estudo (caixas de texto com os nomes na cor preta).....	80
Figura 11 – Imagem da Planta Baixa do pavimento tipo dos blocos do Empreendimento A...81	
Figura 12 – Detalhe da Planta baixa da unidade tipo do empreendimento A.....82	
Figura 13 – Imagem da Planta Baixa do pavimento tipo dos blocos do Empreendimento B...82	
Figura 14 – Detalhe da Planta baixa da unidade tipo do empreendimento B.....83	
Figura 15 – Imagem da Planta Baixa do pavimento tipo dos blocos do Empreendimento C...83	
Figura 16 – Detalhe da Planta baixa da unidade tipo do empreendimento C.....84	
Figura 17 – Dashboard Energia Empreendimento A.....98	
Figura 18 – Sugestões construtivas para a Zona 8..... 101	
Figura 19 – Dashboard Energia Empreendimento B..... 102	
Figura 20 – Dashboard Energia Empreendimento C..... 103	
Figura 21 – Gráfico de “Energia” do empreendimento A.....106	
Figura 22 – Gráfico de “Energia” do empreendimento B.....108	
Figura 23 – Gráfico de “Energia” do empreendimento C.....109	
Figura 24 – Gráfico de “Emissões de Carbono” do empreendimento A.....112	
Figura 25 – Gráfico de “Emissões de Carbono” do empreendimento B.....113	
Figura 26 – Gráfico de “Emissões de Carbono” do empreendimento C.....115	
Figura 27 – Dashboard do desempenho hídrico do Empreendimento A.....120	
Figura 28 – Dashboard do desempenho hídrico do Empreendimento B.....119	
Figura 29 – Dashboard do desempenho hídrico do Empreendimento C.....121	

Figura 30 – Gráfico de “Consumo de Água” do empreendimento A.....	122
Figura 31 – Gráfico de “Consumo de Água” do empreendimento B.....	124
Figura 32 – Gráfico de “Consumo de Água” do empreendimento C.....	125
Figura 33 – Dashboard da Categoria “Materiais” do Empreendimento A.....	132
Figura 34 – Dashboard da Categoria “Materiais” do Empreendimento B.....	134
Figura 35 – Dashboard da Categoria Materiais do Empreendimento C.....	138
Figura 36 – Sistemas de cobertura.....	139
Figura 37 – Gráfico de “Carbono incorporado” do empreendimento A.....	140
Figura 38 – Gráfico de “Carbono Incorporado” do empreendimento B.....	141
Figura 39 – Gráfico de “Carbono Incorporado” do empreendimento C.....	141

Lista de Quadros

Quadro	Página
Quadro 1 – Elementos que regem os cálculos preditivos e origem de seus dados.....	53
Quadro 2 – Estratégias de eficiência disponíveis, para cada empreendimento, no EDGE <i>app</i> ...	61
Quadro 3 – Exemplo de Checklist de um dos empreendimentos (Empreendimento B).....	64
Quadro 4 – Medidas que continham entradas que necessitaram dados fornecidos na literatura.	66
Quadro 5 – Resumo dos KPIs presentes na plataforma EDGE.....	75
Quadro 6 – Quadro com informações relacionadas à Aba Projeto, a serem preenchidos no decorrer das simulações.....	77
Quadro 7 – Quadro para o acompanhamento do desempenho dos empreendimentos, com as estratégias construtivas da metodologia EDGE da categoria Energia.....	77
Quadro 8 – Quadro para o acompanhamento do desempenho dos empreendimentos, com as estratégias construtivas da metodologia EDGE da categoria Água.....	77
Quadro 9 – Quadro para o acompanhamento do desempenho dos empreendimentos, com as estratégias construtivas da metodologia EDGE da categoria Materiais.....	78
Quadro 10 – Sistemas construtivos dos empreendimentos simulados nesse estudo.....	84
Quadro 11 – Destaque de informações dos empreendimentos, entradas na Aba Projeto e resultados identificados.....	87
Quadro 12 – O comportamento dos empreendimentos A, B e C nas estratégias construtivas da metodologia EDGE, da categoria “Energia”, que produziram desempenho positivo.....	92
Quadro 13 – O comportamento dos empreendimentos A, B e C nas estratégias construtivas da metodologia EDGE, da categoria “Água”, que produziram desempenho negativo.....	115
Quadro 14 – O comportamento dos empreendimentos A, B e C nas estratégias construtivas da metodologia EDGE, da categoria “Materiais”, que produziram desempenho positivo.....	126

Lista de Equações

Tabela	Página
Equação (1) – Área interna bruta (GIA).....	57
Equação (2) – Área útil total do projeto	57
Equação (3) – Taxa de reforço de aço	59

Lista de Abreviaturas e Siglas

Neste item, serão apresentados alguns dos símbolos utilizados nesta dissertação. Aqueles que não estão aqui apresentados têm seu significado explicados assim que mencionados, por meio das notas de rodapé, ao longo do texto desta pesquisa.

Símbolo	Significado
EDGE	Excelência em Projeto para Maior Eficiência
EDGE <i>app</i>	Aplicativo EDGE
HISs	Habitações de interesse social
KPIs	Indicadores-chave de desempenho
MCMV	Minha Casa, Minha Vida
Novo MCMV	Novo Minha Casa, Minha Vida
SCVs	Selos de construções verdes

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Justificativa.....	19
1.2. Pergunta de Pesquisa	23
1.3. Objetivos.....	23
1.3.1. Objetivo Geral	23
1.3.2. Objetivos Específicos	23
1.4. Pressupostos.....	24
1.5. Limitações	24
1.6. Estrutura do Trabalho	25
2. REFERENCIAL TEÓRICO	26
2.1. Impactos da Industria da Construção Civil no meio ambiente	26
2.2. Selos de edificios verdes.....	30
2.3. Breve descrição dos selos de edificios verdes	32
2.4. Certificação EDGE	40
2.4.1. Software EDGE.....	42
2.4.2. Breve resumo de estudos com a Metodologia EDGE.....	44
2.5. Programa Minha Casa Minha Vida	47
3. MÉTODO DE PESQUISA	49
3.1. Etapa 1 – Revisão bibliográfica.....	51
3.2. Etapa 2 – Definição da localização, da faixa do MCMV e da tipologia dos objetos de estudo	51
3.3. Etapa 3 – Obtenção dos projetos	52
3.4. Etapa 4 – Método utilizado nas simulações.....	53
3.4.1. Metodologia EDGE	53
3.4.1.1. <i>Software</i> EDGE: Elementos base	53
3.4.1.2. Breve abordagem dos cálculos para a entrada de dados	56
3.5. Etapa 5 – Levantamento final. Entrada de dados e simulação das edificações	59
3.5.1. Cálculos do preditivos do <i>software</i> EDGE.....	67
3.6. Etapa 6 – Análise dos resultados das simulações das edificações	74
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
4.1. Descrição dos Objetos de Estudo.....	80

4.2. Resultados das simulações dos empreendimentos.....	86
4.2.1. Aba Projeto	86
4.2.2. Categoria Energia	92
4.2.3. Categoria Água	115
4.2.4. Categoria Materiais.....	126
4.3. Implicações.....	142
5. Conclusões.....	145
6. Recomendação para trabalhos futuros.....	151
REFERÊNCIAS	152
APÊNDICE A – Relatório de avaliação do Empreendimento A.....	168
APÊNDICE B – Relatório de avaliação do Empreendimento B.....	186
APÊNDICE C – Relatório de avaliação do Empreendimento C.....	204

1. INTRODUÇÃO

A moradia é um direito social constitucional brasileiro descrito no artigo 6º da Constituição Federal (Brasil, 1988). A questão habitacional é exposta novamente no mesmo texto, no inciso IX do artigo 23º, que se refere à atribuição da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios na efetuação de programas habitacionais e no incremento nas condições de moradia e saneamento básico (Brasil, 1988). Também é abordada nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que fazem parte da agenda 2030 de caráter mobilizador e mundial da ONU (Organização das Nações Unidas), mais especificamente na estratégia número 11, no ODS das Cidades (ONU Brasil, 2018; Estratégia ODS, [s.d.]) descrita na meta 11.1, que visa que os países cumpram até 2030 “garantir o acesso de todos à habitação segura, adequada e a preço acessível, e aos serviços básicos e urbanizar as favelas” (ONU Brasil, 2022, n.p).

Balbim e Krause (2014) destacam, no contexto do Brasil, a questão habitacional como um problema de ordem social, econômica e urbana. Questão, segundo os autores, impulsionada pelo adensamento populacional nas cidades brasileiras no final do século XX e enfrentado principalmente pelas populações de baixa renda. Segundo Balbim e Krause (2014), a demanda por moradia não foi suprida pela habitação formal e se desdobrou em ocupações irregulares. De acordo com Pires e Calegare (2018), no cenário brasileiro, as iniciativas governamentais para o atendimento da questão habitacional se estenderam ao longo dos anos até a atualidade.

Neste contexto, destaca-se a Habitação de Interesse Social (HIS) que se refere a uma política habitacional brasileira direcionada a famílias de baixa renda, a qual inclui a produção de moradia para estas populações (Krause et al., 2011).

Segundo Pires e Calegare (2018) para suprir a demanda por casa própria, a HIS abrange famílias com renda entre zero a três salários mínimos, e quanto a este tipo de habitação, ele é subsidiado pelo governo e seus beneficiários são previamente selecionadas de acordo com o enquadramento no perfil socioeconômico.

Porém, a demanda por moradia ultrapassa o contexto brasileiro, e configura-se como uma questão urbana, de esfera mundial, governamental e da construção civil. A questão habitacional é um dos desafios da indústria da construção na atualidade, como citado por Santamouris e Vasilakopoulou (2021) que relatam os desafios para o setor: a rápida urbanização e o grande aumento populacional, com destaque para os países em desenvolvimento; o elevado impacto ambiental do setor; a grande contribuição da construção civil para a emissão de gases

do efeito estufa e a necessidade de descarbonização dela; a ocorrência de superaquecimento urbano devido ao fenômeno de ilha de calor e mudanças climáticas locais; a alta demanda energética no setor residencial nos países emergentes e no ramo da construção; desigualdades sociais e *déficit* habitacional.

Concomitantemente à necessidade de enfrentar os desafios da construção civil, como a demanda por moradia, existe o contexto de mudanças climáticas. Portanto, nota-se a necessidade do setor se adequar e se comprometer em edificar atentando-se a este contexto global. Isto engloba descarbonizar o setor da construção, construir visando a economia de recursos e de matéria-prima, além de minimizar o impacto operacional das edificações, como o lançamento de GEEs (Gases do Efeito Estufa) para o meio ambiente.

Neste sentido, existem as certificações ambientais ou os selos de edifícios verdes (GBL¹) como estratégias para nortear o setor da construção civil a construir de forma mais passiva. Velázquez Robles, Picó e Hosseini (2022) abordam que no mercado da construção civil, à nível global, existem certificações e padrões construtivos que visam a sustentabilidade no setor e podem contribuir para abrandar as consequências das alterações climáticas.

No entanto, a expansão de certificações de edifícios verdes no Brasil apresenta obstáculos e tais selos se encontram em um cenário limitado da construção civil (Santana et al., 2023), sua promoção é uma meta alta, principalmente por se referir à um país em desenvolvimento.

Para isto, surgem certificações com enfoque para países emergentes como é o caso da Certificação EDGE² (Excelência em Projeto para Maior Eficiência) que permite abranger um cenário mais amplo, sendo aplicado à projetos residenciais de alto padrão (IFC³ - Corporação Financeira Internacional, 2024), médio padrão (Marzouk, 2023), até habitações populares como no estudo de Jiménez-Expósito et al. (2023).

Por meio da revisão bibliográfica deste estudo, foi possível notar a utilização do certificado EDGE em construções brasileiras de padrões variados, assim como o emprego em conjuntos habitacionais de HIS, como destacado por GBCBrasil⁴ (2024) na Comunidade do Aço. Apesar do emprego verificado, não foi encontrado, na pesquisa realizada nesse trabalho, na literatura nacional estudos aplicando a metodologia e a certificação EDGE para analisar o

¹ GBL – sigla para *Green Building Label*.

² EDGE – sigla para *Excellence in Design for Greater Efficiencies*.

³ IFC – sigla para *International Finance Corporation*.

⁴ GBCBrasil – sigla para *Green Building Council Brasil*.

desempenho de HIS no contexto nacional, além da falta de estudos no contexto climático da cidade de Belém, segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2024) a Zona 6A.

Diante disso, este trabalho visa responder a seguinte pergunta de pesquisa: As habitações de interesse social (HISs) do programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV), localizadas na Zona Bioclimática da cidade de Belém, atendem ao padrão mínimo da certificação EDGE?

Por meio da pergunta de pesquisa formulada, é possível abordar a problemática da demanda de moradia e a necessidade de construção passiva no contexto de mudanças climáticas. Destacar o cenário amazônico e a cidade de Belém, assim como fornecer um parâmetro para outras cidades que se encontrem na mesma zona bioclimática da capital paraense.

Dessa forma, este trabalho visa analisar habitações de interesse social do programa do governo brasileiro “Minha Casa, Minha Vida” (MCMV) no Estado do Pará, quanto ao atendimento dos critérios mínimos da certificação EDGE. Diante da importância e reconhecimento desta certificação, simular por meio da ferramenta *on line* e gratuita do EDGE *app*⁵ (Aplicativo EDGE), os empreendimentos MCMV e visualizar os resultados quanto ao consumo operacional de recursos (água e energia), a quantidade de emissões de dióxido de carbono (CO₂) que geram estas edificações e o carbono incorporado nos materiais utilizados.

1.1. Justificativa

O relatório da ONU (UNEP⁶- Programa das Nações Unidas para o Ambiente, 2024a) destacou que o setor da construção, em 2022: utilizou 34% da demanda global de energia, sendo 30% apenas para as edificações e 4% na produção de materiais de construção; contribuiu com 37% das emissões globais de CO₂, das quais as operações das edificações totalizaram 27%, a indústria de materiais de construção e a produção de vidro e tijolos somaram 10 %.

Conforme o relatório (UNEP, 2024a) houve avanço na melhoria da intensidade energética por metro quadrado no período de 2021 a 2022, isso devido às normas energéticas para a construção e melhorias na envoltória das edificações, no entanto, esse avanço ainda é modesto pois apenas alguns países contam com tais normas, alguns estão com seus códigos

⁵ EDGE app – Sigla para *EDGE Application*.

⁶ UNEP – Sigla para *United Nations Environment Programme*.

energéticos de construção desatualizados e outros não apresentam. Diante deste contexto, o relatório destaca a importância de focar na redução das emissões por parte das edificações, e dentre as possibilidades cita a melhoria no desempenho delas.

Dessa forma, é possível notar a alta demanda de energia nas edificações e o alto percentual de lançamento de gases do efeito estufa (GEEs) nas fases de operação delas, descarbonizar o setor da construção necessita, portanto, de estratégias direcionadas para as edificações. Como destacado pelo Conselho Mundial de Construção Verde (WGBT⁷, 2021), as metas principais do ambiente construído são a redução das emissões de GEEs pela metade até 2030 e a descarbonização até 2050, e para avançar no cenário que se refere ao “carbono” necessita-se olhar para o ciclo de vida da edificação.

Diante do cenário global de mudanças climáticas, estratégias surgem para descarbonizar a construção. Satola et al. (2020) notaram que as emissões de GEEs operacionais apresentaram a maior parcela no ciclo de vida das edificações. Os autores destacam que os edifícios convencionais, em comparação a edifícios de baixo consumo energético e edifícios de energia zero, produzem entre 50 a 80 % de GEEs a mais no seu ciclo de vida.

Zou et al. (2023) destacam o esforço da China em busca da redução de emissão de carbono no setor residencial nos últimos anos, apresentando crescentes resultados positivos. Os autores destacam, entre as estratégias utilizadas, a existência de normas atualizadas dedicadas à eficiência energética nas edificações residenciais, visando a redução do consumo de energia.

A alta demanda de energia no ambiente construído é uma questão que necessita destaque. No contexto brasileiro, como divulgado no último Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2024), o setor residencial teve um aumento de 4,1% no consumo energético de 2023 em relação ao ano anterior, colocando este setor no terceiro lugar no consumo de energia no Brasil, com sua participação totalizando 10,7%, ficando atrás apenas dos setores industrial e de transportes.

Apesar da contribuição do setor residencial na questão energética, existem assimetrias no Brasil quanto a este âmbito que precisam ser solucionadas. Ferreira e Silva (2021) destacam que apesar dos esforços governamentais para a universalização da energia elétrica nos últimos anos, ainda se verificam populações em zonas remotas da Amazônia que não tem acesso à energia elétrica em quantidade e qualidade suficientes, prejudicando o desenvolvimento local.

⁷ WGBT – sigla para *World Green Building Trends*.

Corroborando, o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA, 2020) informou que no ano de 2019 totalizavam 909.103 de pessoas sem acesso formal à energia elétrica, localizadas na Amazônia Legal. Diante desta preocupação, segundo o IEMA (2023) foi lançado em 2020 pelo governo federal o Programa Mais Luz para a Amazônia, projeto que posteriormente no ano de 2023 foi fundido com o Programa Luz para Todos, e visa, dentre os objetivos, até 2028 atingir 226 mil unidades consumidoras na Amazônia Legal.

As diferenças identificadas acima demonstram as peculiaridades de um país em desenvolvimento, que, portanto, deve ser impulsionado considerando seu contexto. Pois além das questões de assimetrias, deve-se enfrentar paralelamente, os desafios da construção civil e o contexto de mudanças climáticas.

Dentre as soluções no tocante às mudanças climáticas globais, os edifícios verdes (GBs⁸) são peças importantes, eles estão atrelados aos selos de edifícios verdes (GBLs). Tais selos, de acordo com Velázquez Robles, Picó e Hosseini (2022) possibilitam orientar o setor da construção civil no caminho da sustentabilidade. E os edifícios verdes, segundo Projetando para Maior Eficiência (DfGE⁹, 2025) possibilitam diminuir a demanda de recursos. E, segundo Santana et al. (2024), estas construções verdes colaboram para atingir diversos ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável).

Isimbi e Park (2022) destacam que as certificações de edificação verde contribuem para a busca de qualidade no setor residencial, além de que cada uma delas apresenta um sistema com categorias e critérios próprios, nos quais as reduções de emissões de CO₂ podem estar incluídos nestes critérios.

UNEP¹⁰ (2024a) destaca que o Rastreador Climático Global de Edifícios (GBCT¹¹), responsável por avaliar a descarbonização na construção, utiliza um índice composto por 7 partes importantes desse esforço global, a primeira refere-se às emissões de CO₂ nas operações das edificações e as outras seis são multiplicadas pela primeira, as componentes são: intensidade energética; uso de energia renovável; adoção de GBLs; investimento em eficiência energética; códigos energéticos de construção; Contribuições Determinadas à Nível Nacional (NDCs¹²).

Diante disso, as emissões de CO₂ nas operações das edificações são determinantes na descarbonização. O EDGE *app* permite simular o comportamento da edificação ao nível operacional quanto à emissão de CO₂, o carbono incorporado nos materiais e o consumo de

⁸ GBs – sigla para *Green Buildings*.

⁹ DfGE – sigla para *Designing for Greater Efficiency*.

¹⁰ UNEP – sigla para *United Nations Environment Programme*.

¹¹ GBCT – sigla para *Global Buildings Climate Tracker*.

¹² NDCs – sigla para *National Determined Contributions*.

água e energia, além de ser instrumento da GBL denominada EDGE, podendo de forma direta abranger duas partes que compõem o GBCT descrito acima, tanto na certificação quanto na mensuração de emissões de CO₂.

A seleção do sistema de certificação EDGE por este estudo é a opção de se utilizar da ferramenta EDGE *app*, pelos seguintes fatores: segundo EDGE (2021) está vinculado à uma instituição reconhecida, o IFC; além de ser uma plataforma gratuita e *on line* (EDGE *app*, 2025); o *software* considera as condições locais no qual o projeto está inserido (EDGE, 2024a); e como descrito por Marzouk (2023) a facilidade de acesso ao EDGE *app* permite simular projetos e verificar a possibilidade de obter uma certificação de edifício verde.

Para leitores brasileiros, este estudo fornece um exemplo do uso do EDGE *app* para simular habitações de interesse social, visto que não foi verificado na literatura brasileira o emprego desse programa nesse quesito. O estudo em questão pode servir de referência e motivar outros que buscam simular habitações de interesse social ou estender para outras tipologias, devido ao clima e economia semelhantes ao contexto deste estudo.

O contexto deste estudo se torna ainda mais relevante por estar localizado na cidade de Belém, pertencente à Região Amazônica. Primeiramente é amplamente reconhecida a importância da floresta Amazônica para o clima global, tornando-se necessário incentivar a construção de edificações verdes e a reabilitação das construções existentes em edificações verdes.

Sabe-se que o clima da cidade de Belém, em mesoescala, já vem sendo afetado com ocorrências de ilhas de calor, e um dos fatores contribuintes é a construção de edificações, outra questão é a projeção de perda gradual de desempenho térmico das unidades de HIS em virtude das mudanças climáticas (Gonçalves et al, 2024).

Em segundo plano, a cidade de Belém sediará a COP 30, evento que ocorrerá em novembro de 2025 e refere-se à 30ª Conferência das Partes (COP¹³) que reunirá países que fazem parte da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC¹⁴) para tratar assuntos dedicados às mudanças climáticas globais e terá dentre as pautas as estratégias de redução de gases do efeito estufa (Brasil, [s.d.]; Brasil, 2023a; Pará, 2023).

¹³ COP – sigla para *Conference of the Parties*.

¹⁴ UNFCCC – sigla para *United Nations Framework Convention on Climate Change*.

Dessa forma, os olhares de lideranças e sociedade civil destes países estarão voltados para a Amazônia. Por que não analisar como estão sendo construídas as Habitacionais de Interesse Social (HISs) inseridas nesta região? Pois o modelo de construir pode afetar não somente o contexto local, mas contribuir para o lançamento de GEEs, escalando os impactos.

Outra questão importante deste estudo é a simulação de HISs do programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV) no EDGE *app*, pois é uma contribuição social e econômica, diante da dimensão que este programa governamental abrange. Segundo Brasil (2024) desde a criação do programa no ano de 2009 até o momento atingiu-se a marca de 7 milhões de unidades entregues em todo o território brasileiro, e o Novo Minha Casa, Minha Vida, retomado em fevereiro de 2023, pretende financiar mais 2 milhões de unidades até o ano de 2026.

O presente trabalho permitirá visualizar o contexto de descarbonização e uso de recursos em que estão as habitações de interesse social do MCMV, em Belém. Por meio de uma metodologia reconhecida que é o EDGE, gerando resultados em termos de emissões de CO₂, carbono incorporado e a demanda operacional de água e energia. Com os resultados será possível verificar se atendem ao desempenho mínimo exigido pela Certificação EDGE ou quão distante estão as HIS do MCMV desse patamar.

1.2. Pergunta de Pesquisa

As habitações de interesse social (HISs) do programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV), atendem ao padrão mínimo da certificação EDGE?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Analisar, sob o ponto de vista dos padrões da certificação de construção verde EDGE, as habitações de interesse social do programa Minha Casa, Minha Vida, inseridas na modalidade de conjuntos habitacionais verticais, da faixa 1 do programa, localizadas na cidade de Belém, no Brasil.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar em qual(uais) categoria(s) da certificação verde os empreendimentos MCMV se sobressaem e em qual(uais) apresentam desempenho negativo;

- Avaliar os empreendimentos, sob o ponto de vista de eficiência energética, consumo hídrico, carbono incorporado em materiais e emissões operacionais de CO₂;
- Analisar os desempenhos obtidos nas categorias, de acordo com as respectivas escolhas projetuais de cada categoria, como por exemplo o material, a técnica construtiva, as medidas utilizadas nas edificações;
- Comparar os resultados com as recomendações da norma NBR 15220-3 e da Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b);
- Comparar os resultados obtidos entre os empreendimentos analisados.

1.4.Pressupostos

Acredita-se que as edificações do programa MCMV não atenderão aos critérios mínimos, em cada categoria, da certificação EDGE. Isto se refere a poupança dos recursos energia e água, e eficiência em materiais.

1.5.Limitações

Este trabalho apresenta como limitações:

- Devido à falta de acesso aos projetos do programa Novo Minha Casa, Minha Vida, iniciado em 2023, este trabalho realizará a simulação de empreendimentos abrangidos pelo MCMV até o ano de 2021, primeira etapa do programa;
- Em cada empreendimento, inserido em um conjunto habitacional, selecionou-se o bloco que representava a maioria entre eles, no quesito orientação solar. Então, simulou-se, o bloco com orientação solar predominante no conjunto habitacional, em cada empreendimento, permitindo representar a maioria dos blocos, mas não a totalidade;
- O nº de empreendimentos MCMV analisados não coincide com a totalidade dos empreendimentos verticais em Belém, podendo haver algumas questões que não serão abordadas, mas possibilitam esboçar o comportamento da maior parte dos empreendimentos MCMV, na cidade de Belém;
- A funcionalidade do *software* EDGE permite simular o edifício inteiro, não sendo permitido simular cada uma unidade habitacional;

- O presente trabalho não busca validar os resultados obtidos pelo *software* EDGE.

1.6. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, além das referências bibliográficas.

O primeiro capítulo apresenta uma contextualização do tema por meio da introdução, com a posterior explanação da importância e diferencial do estudo por meio da justificativa. Em seguida, é apresentada a pergunta de pesquisa do trabalho, e então definem-se os limites do trabalho por meio dos objetivos gerais e específicos. Além disso, os pressupostos, as limitações e a estrutura do trabalho são apresentadas.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica com assuntos que conduzem e baseiam este estudo. A revisão traz tópicos relacionados aos impactos da indústria da construção civil, a definição das GBLs, a explanação das GBLs tradicionais e as empregadas no contexto brasileiro, o enfoque na certificação EDGE e um comentário sobre o programa Minha Casa, Minha Vida.

Em seguida, no terceiro capítulo, serão apresentados o enquadramento da pesquisa em Exploratória e Descritiva e a escolha das técnicas de Levantamento e *Ex-post facto*, utilizadas neste trabalho, assim como todas as etapas que se seguirão para a realização dele. Neste capítulo apresenta-se a abordagem que esse trabalho utilizou para que a utilização da ferramenta EDGE *app* gerasse resultados refinados na saída de dados.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados das simulações dos empreendimentos, discutidos os resultados e realiza-se um fechamento com a apresentação das implicações práticas, teóricas e políticas desse estudo.

O Capítulo 5 encerra este trabalho, apresentando as conclusões obtidas, as contribuições dele e as sugestões para futuros trabalhos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Impactos da Indústria da Construção Civil no meio ambiente

Os impactos das alterações climáticas desdobram-se em riscos para a saúde humana em todo o contexto global. Como é o caso de mortes relacionadas ao calor em estações mais quentes (Vicedo-Cabrera et al., 2021), o aumento do risco de mortalidade relacionado ao calor, o qual é intensificado em regiões de clima tropical, pois grande parte desses locais contam com recursos limitados para a adaptação climática (Lüthi et al., 2023), a ocorrência de ondas de calor que são mais sentidas por populações menos favorecidas em países da Europa, nestes incluem imigrantes, inquilinos e desempregados (Rocha et al., 2024), afetando atualmente e futuramente o conforto térmico de populações de habitações populares na Colômbia (Callejas-Ochoa et al., 2023) e promovendo cenários futuros de impacto na saúde das populações idosas devido à maior exposição ao calor (Falchetta et al., 2024).

Desta forma, há a necessidade de conter as emissões de gases do efeito estufa (GEEs) a fim de que se possa diminuir a exposição socioeconômica da população humana a eventos de calor extremo (Chen et al., 2020), situações críticas de inundações e secas prolongadas (Fontes, 2024), além de que a forma como serão enfrentadas essas alterações climáticas por parte do governo e população implicarão em efeitos nos sistemas de saúde (Bowles; Butler; Friel, 2014).

Diante das mudanças climáticas antropogênicas e a necessidade de conter o avanço delas, conferências, estudos e acordos entre os países vêm sendo realizados. Segundo o Instituto Mundial de Recursos (WRI Brasil¹⁵, 2023) o sexto relatório do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC¹⁶) relatou a necessidade de conter o aumento das emissões globais de GEEs até 2025, a fim de que se possa manter o limite de 1,5°C de incremento na temperatura global firmado pelos países no Acordo de Paris, e dentre as medidas necessárias para atingir essa finalidade destacam-se a descarbonização da indústria e a promoção de edificações verdes.

A descarbonização supracitada inclui a indústria da construção civil, a qual paralelamente apresenta como outro desafio o elevado impacto ambiental do setor (Santamouris; Vasilakopoulou, 2021). No ano de 2022, as operações dos edifícios e o setor de construção juntos demandaram 37% do consumo global final de energia (IEA¹⁷ – Agência

¹⁵ Sigla para *World Resources Institute Brasil*.

¹⁶ Sigla para *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

¹⁷ IEA – sigla para *International Agency Energy*.

Internacional de Energia, 2023a) e foram responsáveis por 39,65% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas à energia (IEA, 2023b).

Especificamente quanto aos edifícios, em 2022 houve aumento da demanda por energia no valor de 1% em relação a 2021, também se verificou para o mesmo período o incremento na taxa de 3% quanto ao uso final de energia para o resfriamento de ambiente (IEA, 2023c).

Sabe-se que o carbono total na edificação está dividido em duas parcelas que são somadas, as quais são energia operacional e a energia incorporada, a primeira representa as emissões de GEEs na etapa de operação da edificação, e a segunda as emissões de GEEs incorporadas aos materiais utilizados na edificação (GBCBrasil, 2023a; Satola *et al.*, 2020). Portanto, na busca da descarbonização, os edifícios são peças-chave, visto que apresentam alto consumo de energia e lançamento de GEEs na atmosfera (Praseeda; Reddy; Mani, 2016).

Outro impacto ambiental da construção civil é que ela utiliza muitos recursos do meio ambiente por meio da extração de matérias-primas para supri-la (Schandl et al., 2018). Na construção de edifícios, segundo Hoxha et al. (2017) geram-se impactos desde a fase de exploração dos materiais pelo alto consumo de energia não renovável até a fase de fim de vida útil com a produção de resíduos.

Segundo o relatório sobre as “Tendências de uso dos recursos globais” (UNEP, 2024b), nas duas últimas décadas, a demanda média global de materiais *per capita*¹⁸ cresceu de 8,4 toneladas na década de 1970 a 12,2 toneladas em 2020, sendo o ambiente construído e o setor de alimentação os que consomem a maior quantidade de recursos. No mesmo relatório, ainda é previsto que a demanda de materiais em edificações continue a crescer até 2060, projeção relacionada à demanda de infraestrutura em muitas regiões do globo.

A China foi o país que obteve maior destaque nas últimas décadas, fatores como o crescimento populacional, a urbanização acelerada e o desenvolvimento econômico são associados à necessidade de mais edifícios, havendo o aumento de consumo de materiais em edificações residenciais (Huang et al., 2020; Marinova et al., 2020) e gerando mais impactos.

Esta crescente urbanização demanda ainda mais recursos por parte da indústria da construção aumentando os estoques de materiais introduzidos em edificações e infraestrutura,

¹⁸ Por pessoa.

tendo efeito potencializado pela substituição de materiais como madeira por materiais industrializados como aço e concreto que requerem muita matéria-prima (Miatto et al., 2017).

Miatto *et al.* (2019) realizaram um modelo de estimativa do estoque de materiais incorporados nos edifícios e de resíduos de demolição, para a cidade de Pádua (Itália), e notaram que houve o aumento do estoque de materiais *per capita* nas construções de edifícios de 1902 a 2007. Os autores, por meio de projeções futuras para 2030, perceberam que tende a aumentar este estoque assim como o fluxo de resíduos de demolição, e destacam que nos países em desenvolvimento esperam-se taxas de estoque *per capita* ainda maiores.

Ou seja, apesar do setor da construção depender do meio ambiente, no entanto devolve para ele resíduos e emissões de gases (UNEP, 2016), como as relacionadas ao transporte das matérias-primas.

Em relação aos materiais tradicionais utilizados na construção civil, Hoxha *et al.* (2017) correlacionam os materiais estruturais em edifícios à grande parcela nos impactos ambientais e identificaram o concreto armado como o material com a maior contribuição, o qual apresentou alto valor no indicador Potencial de Aquecimento Global (GWP¹⁹).

Habert et al. (2020) destacam a grande contribuição da indústria concreteira na emissão de gases que cooperam para as mudanças climáticas. Segundo Cabeza et al. (2022) em 2019, dos 21 % dos GEEs emitidos pela construção civil, 18% deles foram originados da produção de cimento e aço. Watari et al. (2023) relatam que a produção mundial de concreto entre o período de 1990 a 2020 quadruplicou, o que vem demandando maior quantidade de agregados para supri-la e ocasionando pressão ambiental quanto a esses recursos.

Diante disso, é importante a adoção de soluções na indústria do concreto a fim de amenizar a pegada de carbono dele como descrito por Habert et al. (2020) por meio de uma ação conjunta, desde os produtores de cimento, com o uso de materiais cimentícios suplementares (MCS), assim como incentivar o uso de MCSs na confecção do concreto, além da utilização de projetos arquitetônicos e de engenharia mais eficientes.

Outro impacto que está relacionado à indústria da construção civil é a demanda de água, que é verificada tanto na etapa de construção de edifícios (Sharma; Chani, 2024) através do alto consumo de água associada aos materiais utilizados, por exemplo no concreto (Dixit;

¹⁹ GWP – Sigla para *Global Warming Potential*.

Kumar; Haghighi, 2022) e na produção de cimento (Hosseinian; Nezamoleslami, 2018) quanto na fase de operação, pois o consumo de água em edificações é significativo (Flores; Ghisi, 2022).

De acordo com *Projetando para Maior Eficiência* (DfGE²⁰, 2025), no contexto mundial, no século passado, para o aumento populacional verificado, notou-se o dobro na taxa de consumo global de água. Segundo o autor, ainda projeta-se um cenário futuro (até 2050) de alto estresse hídrico para 1 bilhão de pessoas, essa situação emerge a necessidade de abordar o mau uso da água, com destaque ao alto consumo em edifícios.

Quanto às edificações urbanas e o consumo de água, Roccaro, Falciglia e Vagliasindi (2011) analisaram edifícios residenciais, educacionais e centros esportivos na cidade de Sicília (IT) e notaram que, no contexto urbano, não há homogeneização quanto a consciência referente ao consumo de água e ocorre muito desperdício, com destaque para prédios públicos devido a muitas tubulações necessitando reparo. Os autores destacaram a importância de se utilizar de medidas de poupança de água no contexto urbano.

Já em edifícios comerciais, Sousa, Silva e Meireles (2019) abordam que o consumo hídrico depende dos padrões de consumo dos usuários, mas podem ser utilizadas estratégias para obter a redução, como os sistemas de reaproveitamento de águas pluviais, de reuso de águas cinzas e equipamentos sanitários eficientes. No que se refere a edificações hoteleiras, Barberán *et al.* (2013) abordam o uso de mecanismos economizadores de água nas torneiras como medidas com bom retorno para a eficiência hídrica e um custo de investimento relativamente baixo.

No contexto brasileiro, Reis et al. (2023) destacam que grandes cidades começam a sofrer com problemas de escassez de água, e em seu estudo referente à uma edificação residencial na cidade de Goiânia (GO), notaram que fatores como temperatura média máxima diária e a precipitação mensal influenciam na demanda hídrica.

No Brasil, segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (ANA, 2023; ANA, 2024), a água demandada para o abastecimento urbano ocupa a segunda posição no consumo, ficando somente atrás da água direcionada para a irrigação. Ainda de acordo com o órgão, nos anos de 2019 a 2022, a demanda de água para o abastecimento urbano cresceu de

²⁰ DfGE – Sigla para *Designing for Greater Efficiency*.

473 m³/s para 487 m³/s, fato correlacionado ao crescimento população, mudanças climáticas e eventos extremos.

Com os desafios associados ao ambiente construído e os impactos ambientais da construção civil, torna-se imperativo que este setor busque medidas e estratégias para reduzir tais impactos. Portanto, é importante a escolha de materiais ainda na fase projetual, visando preferir aqueles que demandem menos água (Dixit; Kumar; Haghighi, 2022), que estejam disponíveis localmente (Azari; Abbasabadi, 2018) de forma a diminuir o deslocamento e as emissões relacionadas, também como destacado por Sousa, Silva e Meireles (2019) utilizar estratégias que reduzam o consumo hídrico nas edificações.

2.2.Selos de edifícios verdes

Frente à necessidade de buscar medidas quanto as mudanças climáticas e as consequências delas, na 21ª Conferência das Partes (COP²¹) da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) os países membros firmaram o Acordo de Paris, o qual dentre as metas incluía reduzir as emissões de GEEs, portanto cada nação precisou definir seus compromissos de redução destas emissões por meio das Contribuições Nacionalmente Determinadas (CND) (MMA – Ministério do Meio Ambiente, [s.d.]; ONU, [s.d.]; UNFCCC, [s.d.]).

Verifica-se que o ambiente construído está na pauta para o enfrentamento das emergências climáticas, como destacado por Cabeza e Ürge-Vorsatz (2020) que colocam os edifícios como peça fundamental neste contexto.

Diante dos impactos do ambiente construído ao ambiente natural e a necessidade de mitigá-los foram criadas regulamentações, padrões construtivos, certificações e sistemas de certificação de edifícios verdes, ou seja, estratégias para direcionar a construção para um *design* sustentável, a eficiência energética e o melhor desempenho ambiental (Vierra, 2023; Marchi; Antonini; Politi, 2021).

Diante disso, as certificações de edificações verdes, as quais são sistemas que foram criados na década de 90 e se expandiram no início do século 21 (Shan; Hwang, 2018), com o Acordo de Paris segundo Istil, Górecki e Diemer (2023) ganharam maior visibilidade, assim

²¹ COP - sigla para *Conference of the Parties*.

como algumas normas foram criadas, pois os países foram tomando medidas para a redução de GEEs.

As certificações de edificações verdes ou os selos verdes, segundo Grünberg, Medeiros e Tavares (2014) são originados de metodologias que avaliam e certificam os edifícios, estas certificações promovem um ambiente construído de melhor qualidade e visam minimizar os impactos ambientais. De acordo com Santana (2021) o termo “selos de construções verdes” (GBLs) retrata selos que buscam no setor da construção atingir aspectos da sustentabilidade em uma ou mais dimensões, e podem ser originários do mercado ou instituição governamental.

De acordo com o WorldGBC²² ([s.d.]), essas certificações verdes permitem reconhecer construções que atendam aos requisitos de sustentabilidade, podem ser aplicadas a qualquer fase da edificação, desde a etapa de projeto até a operação, além de abrangerem diversas tipologias de edificações, como exemplo, de uma casa até a estrutura de um bairro inteiro.

Os sistemas de classificação de edifícios verdes (GBRSs²³) ou Sistemas de Certificação permitem analisar o projeto de uma edificação de forma ampla (Vierra, 2023). Para atribuir pontuação e avaliar um edifício quanto à sustentabilidade, os GBLs podem conter diferentes níveis interligados, como por exemplo um GBL contém categorias, nas quais cada uma contém seus critérios, os quais são divididos em subcritérios, estes últimos são mensurados por indicadores (Liang *et al.*, 2021).

Para a obtenção de um selo verde é necessário o atendimento aos critérios do sistema da certificação solicitada. De acordo com Isimbi e Park (2022) de modo geral tais critérios são atingidos através de tecnologias ou medidas sustentáveis na edificação. Segundo Santana et al. (2023) considera-se um edifício verde (GB²⁴) a construção que passou por inspeção por parte de representante do órgão certificador e comprovou o atendimento ao GBL. Meena *et al.* (2022) destacam que os GBs em comparação aos edifícios convencionais economizam 40-50% em energia, 20-30% em água e promovem uma melhoria de 8% na qualidade do ar interno.

A tendência de edifícios verdes não é um fenômeno isolado e só tem a crescer pois segundo Shan e Hwang (2018) o avanço em lançar GBLs é verificado no contexto das autoridades em construção no mundo todo. No entanto, Li, Zheng e Zeng (2023) retratam que o custo de uma construção verde ainda é um entrave na aquisição pelo consumidor, os autores

²² WorldGBC – sigla para *World Green Building Council*.

²³ GBRS – sigla para *Green Building Rating Systems*.

²⁴ GB – sigla para *Green Building*.

sugerem o impulsionamento das GBs por meio da diminuição dos impostos e despesas dessas construções e o aumento gradual de encargos nas construções convencionais; também citam a importância do incentivo político na promoção de medidas que possam direcionar investimentos para este setor. Fato corroborado por Santana et al. (2023) que abordam a relevância do incentivo político e de instituições públicas na expansão dos selos verdes, e manifestam a importância de se ter uma certificação mais acessível e o apoio às empresas de construção de pequeno porte por meio de subsídios ou parcerias.

Dessa forma, selos de edifícios verdes (GBLs) são estratégias que impulsionam a economia e o mercado da construção civil ao voltar o olhar para a necessidade de descarbonização, às mudanças climáticas e os impactos ao meio ambiente promovido pela construção, no entanto apresentam barreiras a se enfrentar como incentivos fiscais e políticos.

2.3. Breve descrição dos selos de edifícios verdes

Os sistemas de certificações de edifícios verdes (GBRSs) visam, desde a fase projetual, um *design* que propicie o menor impacto ambiental e menor demanda de recursos, ao longo do ciclo de vida da edificação (Vierra, 2023). Os GBRSs impulsionaram a sustentabilidade no ambiente construído (Isimbi; Park, 2022) e permitiram uma abordagem mais compreensível sobre a construção verde, algo mais simples em comparação com técnicas complexas como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (Marchi; Antonini; Politi, 2021).

As certificações contribuem no enfrentamento frente ao cenário climático (Velázquez Robles, Picó e Hosseini (2022), são um dos elementos na busca da descarbonização (UNEP, 2024a) e no menor consumo de recursos por parte das edificações (DfGE, 2025), além de que os edifícios que apresentam tais certificações permitem traçar um percurso em prol de atingir os ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável), visto que estão associados aos ODSs 3, 7, 11 e 12 (Santana et al., 2024).

Não obstante os esforços de abordar a sustentabilidade de maneira holística, segundo Awadh (2017) a maioria das certificações se concentram no pilar ambiental, em detrimento às dimensões econômica e social.

Diversos são os GBRSs, pois vários países e organizações os iniciaram (Azhar *et al.*, 2011). Cada um dos GBRSs tem seus critérios, estes podem se assemelhar ou se repetir entre

eles (Isimbi; Park, 2022). Os GBRs podem ser de multiatributos ou de um único atributo, no primeiro caso certifica-se com base em mais de um parâmetro como é o caso dos selos BREEAM, LEED, WELL e EDGE, no segundo caso o foco é centrado em um fator como água ou energia, como exemplo a etiqueta Energy Star (Vierra, 2023).

Diante disso, para este trabalho que trata de uma certificação multiatributo serão apresentados a seguir de forma sucinta duas das certificações multiatributo mais tradicionais no mundo das GBs - com base no critério do estudo de Awadh (2017) - e as GBLs próprias do Brasil e que são mais aplicadas no contexto brasileiro.

O primeiro sistema a ser desenvolvido foi no Reino Unido pelo *Building Research Establishment* (BRE²⁵ Group) (Marchi; Antonini; Politi, 2021). Em 1990, o BRE Group criou o *British Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM²⁶), o qual inicialmente era destinado a avaliar novos escritórios no Reino Unido quanto ao quesito ambiental, posteriormente evoluiu para um sistema de certificação e método de avaliação de sustentabilidade com aplicação em outros países e abrangendo todo o ciclo de vida da edificação, podendo ser destinado para novas construções, para edificações construídas que visam renovar a estrutura edilícia, para comunidades e para investimentos imobiliários (BREEAM, [s.d.]a, BREEAM, [s.d.]b).

Atualmente, segundo os projetos certificados BREEAM estão distribuídos em 104 países no globo (BREEAM Projects, [s.d]). No Brasil, existem 4 empreendimentos com a certificação, os quais estão localizados nos estados Rio de Janeiro e São Paulo (BREEAM Projects, [s.d]).

O BREEAM permite medir o desempenho da edificação quanto à sustentabilidade, com base em parâmetros, e utiliza categorias de avaliação como água, energia, uso da terra e ecologia – ao total são 12 categorias -, cada uma composta de elementos a serem atingidos (BREEAM, [s.d.]b). Certificações como o BREEAM e o LEED são reconhecidas no mercado imobiliário português, por agregarem valor ao imóvel tanto no valor de venda quanto no aluguel (Marques; Januário; Cruz, 2024).

²⁵ BRE – sigla para Estabelecimento de Pesquisa em Construção (tradução nossa).

²⁶ BREEAM – sigla para Método de Avaliação Ambiental do Estabelecimento Britânico de Pesquisa em Construção (tradução nossa).

No BREAAAM, o seu processo de certificação de edificações conta com a avaliação imparcial de um especialista denominado BREEAM Assessor, o qual é vinculado ao organismo terceirizado e credenciado BRE Global Ltd (BREEAM, [s.d.]b).

Outros sistemas de classificação de edifícios verdes sofreram influência do BREEAM, como o caso do *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED²⁷), o qual também pode avaliar todo o ciclo de vida da edificação, foca em questões ambientais e conta com 9 categorias para se obter créditos como eficiência hídrica, energia, materiais e recursos (Doan *et al.*, 2017; Vierra, 2023).

O LEED foi criado e iniciou seu desenvolvimento no ano de 1993 pelo *United States Green Building Council* (USGBC²⁸), no ano de 1998 lançou-se o LEED v1.0, uma versão inicial do sistema e foi aplicada em projetos-piloto (USGBC, [s.d.]a). Devido ao êxito o sistema foi aprimorando-se e hoje está na versão LEED v4.1. (USGBC, [s.d.]a).

No contexto mundial, o LEED está presente em 186 países e territórios, totalizando 197.000 projetos certificados e devido a quantidade de países que abrange é identificado como o GBRS mais empregado em todo o mundo, além de estar disponível para uma variedade de empreendimentos como para novas construções, reformas grandes, reforma de interiores, na operação e manutenção de prédios existentes, para casas e edifícios residenciais, para o desenvolvimento de bairros e cidades (USGBC, [s.d.]b).

A verificação do atendimento à certificação LEED é feita pelo *Green Business Certification Incorporated* (GBCI²⁹) e para isso o empreendimento deve atender a determinados pré-requisitos obrigatórios dentro das categorias e também acumular uma quantidade mínima de pontos nos critérios (ou créditos), podendo se enquadrar em um dos quatro níveis da certificação, os quais são Certificado, Prata, Ouro e Platinum, em ordem crescente de pontos (USGBC, [s.d.]b; Vierra, 2023).

No contexto brasileiro, segundo Grünberg, Medeiros e Tavares (2014) destacam-se as certificações verdes LEED, Casa Azul + CAIXA³⁰ e AQUA-HQE^{TM31}. De acordo com dados do Conselho de Construção Verde Brasil (GBC Brasil, 2023b), o país é o quinto colocado mundial quando se refere a empreendimento com a certificação LEED. Ainda segundo GBC

²⁷ LEED – sigla para Liderança em Energia e Design Ambiental (tradução nossa).

²⁸ USGBC – sigla para Conselho de Construção Verde dos Estados Unidos (tradução nossa).

²⁹ GBCI – Sigla para *Green Business Certification Incorporated*.

³⁰ CAIXA – Sigla para Caixa Econômica Federal.

³¹ AQUA-HQETM – Sigla para Alta Qualidade Ambiental.

Brasil (2023b), no nível Platina - que é o mais alto em relação a pontos-, o Brasil apresenta maior quantidade deste nível para novas construções em relação à média mundial, totalizando no ano de 2023, 24,5 % das certificações em andamento. No ano de 2024, segundo USGBC ([s.d.]c) constavam 897 empreendimentos certificados LEED no Brasil.

A partir dos GBRS pioneiros, citados anteriormente, desenvolvidos na década de 1990, notou-se a necessidade de lançar novos GBRS para o contexto regional, então alguns países desenvolveram seus próprios sistemas de verificação de desempenho ambiental, com base nessas metodologias antecessoras (Ding, 2008; Lazar; Chithra, 2020). Após o ano de 2001, nota-se também uma tendência em lançamento de GBLs específicos dentro dos próprios GBLs predominantes (Shan; Hwang, 2018).

Quanto aos GBLs regionais, Grünberg, Medeiros e Tavares (2014) defendem a importância de se utilizar GBLs específicos para o local de aplicação a fim de que se obtenha um melhor resultado; Isimbi e Park (2022) relatam que os países africanos apresentam pouco destaque no uso da certificação LEED, além de apresentarem problemas peculiares a serem solucionados; Santana et al. (2023) relatam a dificuldade de adesão de selos no Brasil e abordam que o espaço predominante em que as certificações se implantaram até o momento, no cenário brasileiro, se caracteriza por ser limitado e característico de edificações de alto padrão.

No âmbito brasileiro, existem GBLs próprias do país, as quais são o sistema AQUA-HQE™, PROCEL EDIFICA e o Selo Casa Azul + CAIXA (Piccoli *et al.*, 2010). A primeira certificação brasileira para edificações foi lançada em 2008, sob o nome de AQUA - atualmente AQUA-HQE™ - originária da adaptação, realizada pela Fundação Vanzolini, da certificação francesa Démarche HQE™ (*Haute Qualité Environnementale*³²) (Aulicino, 2008; Fundação Vanzolini, [s.d.]; Fundação Vanzolini, 2022).

Segundo Santos, Costa e Brasil (2014), por meio da adaptação ao contexto brasileiro, a certificação AQUA-HQE™, assim como o método francês, é dividida em dois contextos, os quais são: um sistema de gestão do empreendimento (SGE) que é implementado pelo responsável do empreendimento; o outro contexto é dividido em 14 categorias que permitem avaliar a qualidade ambiental do edifício, cada uma delas pode alcançar um dos três níveis (excelente, superior ou bom).

Quanto ao SGE, ele será um mediador entre o empreendedor e os profissionais da Fundação Vanzolini, pois a cada auditoria realizada nas fases do empreendimento pode haver

³² Alta Qualidade Ambiental (tradução nossa).

correções, sobre as quais o SGE avaliará as ações do empreendedor visando atingir o desempenho ambiental desejado (Santos; Costa; Brasil, 2014).

No que se refere às 14 categorias, para trabalhá-las sob a ótica dos ambientes externo e interno, é importante traçar quais são prioridades para o empreendimento, visto que do total de 14, devem ser atingidas no mínimo 3 com pontuação excelente, sobrando 11 categorias, das quais 4 devem ter nível superior e as outras 7 que podem estar com nível bom (Aulicino, 2008).

No território brasileiro, o selo AQUA-HQE™ está vinculado à 978 construções, e quanto a sua abrangência, é disponível para as tipologias edifícios comerciais e residenciais, loteamentos, bairros, condomínios residenciais e infraestruturas, em que para cada uma delas existe um referencial técnico destinado (Fundação Vanzolini, [s.d.]).

Segundo a Fundação Vanzolini (2024), no que se refere a etapa de aplicação na edificação, esta certificação pode ser inclusa tanto na fase de construção quanto na operação. No primeiro caso, a edificação é avaliada em três etapas, nas quais constam auditoria para a verificação do atendimento aos referenciais tanto da parte do SGE quanto da edificação (Fundação Vanzolini, 2024).

As etapas mencionadas anteriormente, para a certificação da etapa de construção, são as fases pré-projeto, projeto e execução (Fundação Vanzolini, 2024). Ou seja, a certificação AQUA-HQE™ avalia o desempenho ambiental por meio de questões técnicas, construtivas e de gestão (Grünberg; Medeiros; Tavares, 2014).

Outra certificação de âmbito nacional é o Selo Casa Azul + CAIXA. Segundo Santana e Maués (2022), o selo foi criado pela instituição Caixa Econômica Federal (CAIXA) para nortear os empreendimentos financiados pelo banco no caminho da redução dos impactos ambientais gerados na construção e no pós-obra, e tem como diferencial, em relação às certificações internacionais, a possibilidade de aderir a mais aspectos sociais.

Vale ressaltar que o selo Casa Azul + CAIXA é de adesão voluntária e busca incentivar soluções urbanísticas no empreendimento e no entorno dele assim como o uso racional dos recursos (CAIXA, [s.d.]; CAIXA, 2024).

A data de criação do selo Casa Azul é 2009, e é reconhecido como uma certificação confeccionada e direcionada a mensurar a sustentabilidade, considerando as peculiaridades de projetos habitacionais no Brasil (CBIC³³, 2020).

³³ CBIC – Sigla para Câmara Brasileira da Indústria da Construção.

O selo passou por 5 fases de revisão e modernização, cada uma com a sua contribuição. Com destaque para as fases 2 e 3, na fase 2 (em 2019) o nome foi alterado para Selo Casa Azul + CAIXA, na qual se destacou a inclusão de dois identificadores #mais relacionados ao aspecto sustentável, na fase 3 (em 2021) o selo dividiu-se em duas etapas Projetar e Habitar (CAIXA, 2024).

De acordo com a CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2024), o Selo Casa Azul + CAIXA está presente em 463 construções brasileiras e suas atualizações geraram bom destaque no mercado. Já Qualharini et al. (2020) destacam que esta certificação está em processo de implantação.

Segundo o Guia do Selo Casa Azul + Caixa (CAIXA, 2024), o selo possui quatro níveis de atendimento, os quais são em ordem crescente Cristal/Bronze, Topázio/Prata, Safira/Ouro, Diamante, cada nível apresenta uma quantidade mínima de pontos e critérios obrigatórios a atender. Ainda de acordo com CAIXA (2024), a certificação é composta por 6 (seis) categorias e uma categoria bônus, nas quais são abordados aspectos que direcionam o empreendimento à sustentabilidade, isso é possível através dos critérios a serem atendidos em cada categoria, ao todo são 51 critérios (somado o critério bônus).

Quanto ao processo para a obtenção do selo Casa Azul + CAIXA, elas seguem a sequência descrita por CAIXA ([s.d.]; 2024) e, divididos a seguir em 4 (quatro) etapas numeradas:

- Etapa 1: o proponente envia a documentação e carta proposta à CAIXA, demonstrando o atendimento aos critérios de sustentabilidade do selo, os quais serão analisados;
- Etapa 2: quando no ato da contratação da proposta, caso atenda aos requisitos, a certificação Selo Casa Azul + CAIXA Projetar é entregue com o nível alcançado;
- Etapa 3: no decorrer da obra são realizadas as vistorias, a fim de verificar o cumprimento do projeto;
- Etapa 4: ao finalizar a obra, caso haja conformidade com as especificações de projeto, ocorre a concessão do Selo Casa Azul + CAIXA Habitar.

Santana e Maués (2022) destacam que a versão atual Selo Casa Azul + CAIXA exige que os projetos submetidos estejam em conformidade com a norma brasileira de desempenho de edificações residenciais, a NBR 15.575. Campana et al. (2022) ao compararem os selos

LEED, AQUA e Casa Azul + Caixa, notaram abordagem de critérios comuns entre eles como localização e entorno, uso eficiente de água e energia, e uso sustentável de materiais. Já Grünberg, Medeiros e Tavares (2014) ao compararem essas três certificações no contexto brasileiro perceberam o selo Casa Azul + Caixa como o mais adequado para a realidade brasileira.

Outro selo com aplicação no Brasil é a etiqueta PBE-Edifica, a qual faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), está vinculado ao Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL Edifica) (PBE Edifica, [s.d.]a).

De acordo com PBE Edifica ([s.d.]a; 2014), o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), visa por meio da etiquetagem fornecer informações sobre os produtos comercializados no Brasil que consomem energia, de forma a buscar a conservação de energia em âmbito nacional. Ainda, segundo os autores, o PBE é dirigido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) e tem como parceiros a Eletrobrás e a Petrobrás.

Quanto ao PROCEL Edifica, ele foi criado em 2003, pela parceria Eletrobrás/PROCEL, e busca fomentar o uso racional de recursos na edificação, com enfoque à eficiência energética (PBE Edifica, [s.d.]a; 2014).

Para nortear a etiquetagem de edificações normas técnicas foram lançadas, nos anos de 2009 e 2010, as primeiras normas regulamentadoras (PBE Edifica, 2014). No ano de 2014, iniciaram-se estudos para a atualização delas, o que resultou em medidas normativas que foram aprovadas e publicadas, em parceria conjunta do Ministério da Economia e INMETRO, através da Portaria Consolidada nº 309, de 06 de setembro de 2022 (PBE Edifica, [s.d.]b).

Com a Portaria supracitada, entraram em circulação a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R), além de outras normas (INMETRO, 2022a).

Esta diferença nas normas quanto às tipologias construtivas desdobra-se também em diferença nos procedimentos de avaliação. Como exemplo, segundo a Portaria Consolidada nº 309 (INMETRO, 2022a):

- Nas edificações comerciais e públicas, a avaliação do consumo energético deve ser por meio dos métodos simplificado e de simulação, e quanto aos sistemas a serem classificados

quanto à conformidade, no caso de certificação parcial, pode ser o sistema envoltória apenas, ou este sistema e mais outro, como exemplo, os sistemas de iluminação, de condicionamento de ar, de aquecimento de água;

- Nas edificações residenciais, são permitidos 3 (três) métodos para avaliação do consumo energético do sistema envoltória, eles são prescritivos, simplificado e de simulação, já para o sistema aquecimento de água e para as áreas de uso comum apenas o método simplificado é aceito.

Quanto aos métodos utilizados nas edificações residenciais, segundo a Portaria nº 309 (INMETRO, 2022a): o método prescritivo pode ser utilizado para a envoltória, no entanto limita a obtenção de no máximo a Classe C de eficiência energética; no método prescritivo, a edificação é comparada aos limites referência da NBR 15575³⁴, no que se refere aos sistemas de vedações verticais externas, as coberturas e a soma das áreas de elementos transparentes em *APPs*³⁵; no método simplificado, são comparados um modelo real, que representa a edificação e suas especificações projetuais, e um modelo referência, baseado na NBR 15575-1³⁶; no método de simulação se realiza a modelagem computacional baseada na NBR 15575-1.

O selo PBE-Edifica pode ser obtido tanto na etapa de projeto ou quanto após a construção, e o órgão reconhecido para a acreditação de uma edificação é o Organismo de Inspeção Acreditado (OIA), o qual mediante demanda, realiza a inspeção e fornece o nível de desempenho encontrado (PBE Edifica, [s.d.]c; INMETRO, 2022a).

A etiqueta demonstra a conformidade aos requisitos de desempenho, e quando se refere a um produto ou edificação no aspecto eficiência energética é denominada ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) como é o caso da PBE-Edifica (PBE Edifica, [s.d.]d) e classifica-se em faixas coloridas que variam em uma escala de A a E, sendo “A” mais eficiente (cor verde) e “E” menos eficiente (cor vermelho) (INMETRO, 2022b).

Em 2024, o total de ENCE’s emitidas para edificações comerciais totalizou 323, enquanto para edificações habitacionais totalizou 5328 - sendo 5236 unidades habitacionais autônomas, 66 multifamiliares e 26 áreas de uso comum (INMETRO, 2024).

³⁴ Coleção da NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho.

³⁵ APPs – sigla para Ambientes de permanência prolongada.

³⁶ NBR 15575: Parte 1 – Requisitos Gerais.

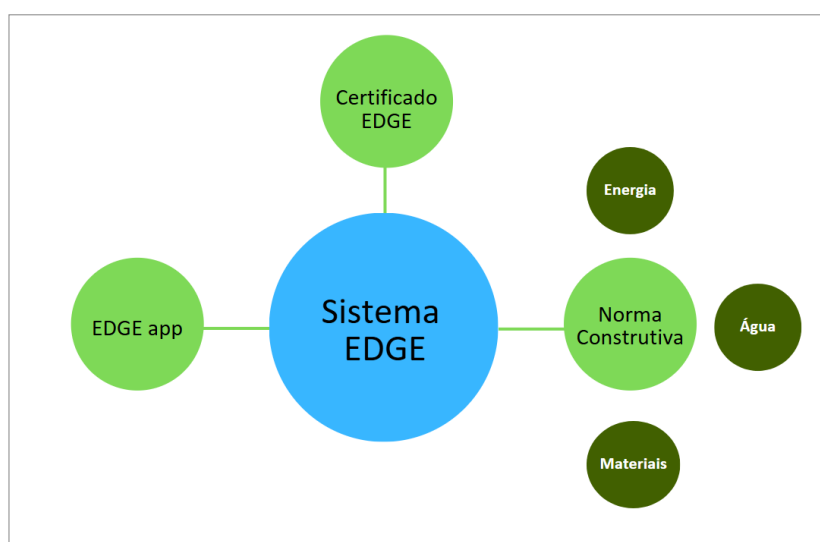
Dessa forma, uma edificação com o selo PBE-Edifica demonstra ter melhor desempenho energético, com o aval de uma etiqueta de conformidade brasileira (UGREEN, [s.d.]).

Pode-se notar a ocorrência de certificações de construção verde de âmbito internacional e nacional existentes no Brasil, vale destacar que os selos BREEAM, LEED, AQUA e Casa Azul+ Caixa são multiatributo, enquanto a etiqueta PBE-Edifica se enquadraria como mono-atributo diante do direcionamento dado ao desempenho energético. O contexto socioeconômico brasileiro abre espaço para uma certificação multiatributo lançada pela IFC³⁷ (Corporação Financeira Internacional) e direcionada para países em desenvolvimento, a qual é denominada EDGE e é a GBL que será abordada nesta pesquisa.

2.4. Certificação EDGE

A IFC, a qual é membro do Grupo Banco Mundial (WBG³⁸), lançou o Sistema EDGE (Figura 1), o qual inclui: Um sistema de certificação de edifício verde (GBL) chamado de certificação EDGE; um aplicativo para simulação, o EDGE *app*³⁹; e um padrão verde global (EDGE, 2021).

Figura 1 – Sistema EDGE.



Fonte: EDGE (2021); Marzouk (2023).

³⁷ IFC – sigla para *International Finance Corporation*.

³⁸ WBG – sigla para *World Bank Group*.

³⁹ EDGE app – sigla para *EDGE Application*.

O sistema de certificação EDGE visa reduzir a disparidade quanto ao mercado de construção de edifícios verdes, entre os países com economias consolidadas e os países emergentes, e por meio de sua abordagem, minimizar o *gap*⁴⁰ entre o uso de certificações custosas e os casos em que não se têm ou não se usam normas construtivas verdes (EDGE, 2021).

O GBL EDGE é do tipo multiatributo, pois suas áreas de avaliação incluem água, energia e materiais (Vierra, 2023). A certificação inclui tipologias diversas como casa, apartamento, hotel, flat, resort, edificação educacional, hospitalar, comercial, de uso misto (residencial e comercial), além de subtipos relacionados (EDGE, 2021).

O EDGE permite certificar edificações: Em diversas etapas do ciclo de vida, por exemplo tanto uma nova construção quanto uma edificação existente; em um dos dois estágios possíveis para requerer a certificação, que pode ser na fase de projeto ou na pós-construção (EDGE, 2021).

No EDGE *app*, é possível simular as tipologias supracitadas em diferentes níveis de padrões construtivos (EDGE, 2024b). Por meio do aplicativo, o projeto do empreendimento pode ser inserido, então é contextualizado um objeto de comparação, denominado “Caso-Base”, o qual se refere a uma edificação convencional da mesma tipologia (EDGE, 2021).

No EDGE *app*, são fornecidos valores para representar e calcular o desempenho do “Caso-Base”, o qual será comparado com o desempenho do Caso-Aprimorado (empreendimento inserido) (EDGE, 2021), e assim gerará os resultados da simulação.

Para que se possa requerer a certificação EDGE, deve-se buscar atingir o padrão global dela, o qual significa que, em relação ao desempenho de uma edificação referência local (“Caso-Base”), o desempenho do projeto simulado no EDGE *app*, atingiu o mínimo de 20% de economia (prevista) em cada uma das categorias, as quais são “água”, “energia” e “materiais” (EDGE 2021).

Para atingir o desempenho desejado para a certificação, com base na tipologia e no nível de padrão construtivo da edificação, existem estratégias obrigatórias e complementares a serem selecionadas nas abas (do aplicativo) água, energia e materiais (EDGE *app*, 2024; Velázquez Robles, Picó, Hosseini, 2022).

⁴⁰ Expressão no idioma inglês que remete à “lacuna”.

Nota-se que a certificação EDGE, assim como outros Selos de Edifícios Verdes, de acordo com UNEP (2024a) são componentes do caminho para a descarbonização na construção civil. No entanto, destaca-se o fato da certificação EDGE, além de apresentar as exigências de seu padrão construtivo, fornecer o *software* EDGE com diversas estratégias construtivas disponíveis e segundo Marzouk (2023) a possibilidade de utilizar esta ferramenta *on line* e baseada em nuvem, através da criação de uma conta de usuário. Portanto, este próximo subtítulo pretende abordar a plataforma EDGE.

2.4.1. *Software* EDGE

A certificação EDGE está vinculada a utilização do *software* EDGE. Esta plataforma apresenta indicadores que envolvem emissões de dióxido de carbono (CO₂), consumo energético, consumo hídrico, carbono incorporado e custos (Marzouk, 2023) e apresenta abordagem preditiva (DfGE, 2025). Dito isto, o usuário pode inserir dados de seu projeto e verificar possibilidades de economias (EDGE, 2021).

Sabe-se que para avaliar o cenário energético da edificação, os cálculos da plataforma EDGE passaram por averiguação de seus resultados, segundo EDGE (2021) e Velázquez Robles, Picó e Hosseini (2022):

- Primeiramente, isto foi realizado por meio da simulação de edificações em nove locais ao redor do mundo, utilizando a ferramenta de simulação dinâmica *eQUEST* e comparando com os resultados das mesmas edificações no EDGE *app*;

- Dentre os anos de 2013 a 2014, especialistas no México e Filipinas revisaram a modalidade EDGE *for Homes*⁴¹, para isto compararam os resultados obtidos no EDGE *app* com os resultados de *softwares* de simulação dinâmica, dentre eles o *DesignBuilder* e os *softwares* da empresa IES⁴² (Soluções Ambientais Integradas), obtendo no máximo 8% de variação entre os resultados;

- Nos anos de 2015 e 2016, profissionais nos países China e África do Sul revisaram a plataforma EDGE;

⁴¹ Acredita-se tratar da versão residencial do *software* EDGE.

⁴² IES – Sigla para *Integrated Environmental Solutions*.

- Em 2016, especialistas na Índia compararam os resultados do EDGE *app* com os obtidos em algumas ferramentas de simulação dinâmica, e, obtiveram na maior variação a diferença de 10% entre os resultados.

A plataforma EDGE está presente na lista de ferramentas reconhecidas pelo IBPSA-USA⁴³ (Associação Internacional de Simulação de Desempenho de Edifícios – Afiliada dos Estados Unidos) e é enquadrada na modalidade de *software* voltado “a simulação energética de edifícios inteiros”, tanto comerciais como residenciais (IBPSA-USA, [s.d], n.p.).

No tocante ao consumo energético, a plataforma EDGE utiliza o método quase-estacionário para computar a parcela de energia direcionada ao condicionamento da edificação, neste método incluem-se cálculos da capacidade calorífica dos componentes da envoltória (EDGE, 2021), e com dados de localização, permite-se o balanço energético da habitação (Marcelo, 2017).

Vale ressaltar que a escolha pela utilização do método quase-estacionário para a análise de desempenho energético foi devido à escalabilidade e a facilidade de uso frente à modelos que utilizam simulação dinâmica, no entanto por haver precisão limitada recomenda-se, caso necessário, o uso de outra ferramenta de modelagem e utilizar a plataforma EDGE como coadjuvante na etapa projetual (EDGE, 2021).

No que se refere aos modelos de cálculo de desempenho energético da edificação, EDGE (2019) destaca o modelo empírico, o quase-estacionário e o modelo de simulação dinâmica, já Borgstein, Lamberts e Hensen (2016) destacam as metodologias que usam aprendizado de máquina, simulação, conceitos estatísticos, e cálculos de engenharia.

Entre os *softwares* utilizados para a simulação termoenergética, destacam-se: o *Energyplus*, *software* gratuito que possibilita simular o consumo energético e consumo hídrico nas edificações (*Energyplus*, [s.d]); o *DesignBuilder* e o *OpenStudio*, que apresentam a possibilidade de se integrar com o *Energyplus* e tornar mais acessíveis as modelagens (*DesignBuilder*, [s.d]; U.S. Department of Energy⁴⁴, 2014); e o *eQUEST* que apresenta uma abordagem mais acessível e rápida para o procedimento citado (*eQUEST*, [s.d]).

⁴³ IBPSA-USA – Sigla para *International Building Performance Simulation Association (IBPSA) - United States*.

⁴⁴ U.S. Department of Energy – Sigla para *United States Department of Energy*.

Este trabalho delimita-se sobre a metodologia EDGE e a utilização do *software* EDGE, portanto o item a seguir destaca alguns estudos que utilizaram a plataforma.

2.4.2. Breve resumo de estudos com a Metodologia EDGE

Marzouk (2023) utilizou o EDGE *app* e simulou uma edificação unifamiliar de padrão médio localizada no país Omã, em que realizou 12 modificações no projeto original a fim de atender ao segundo nível da certificação EDGE (EDGE *Advanced*). Segundo o autor, as mudanças abrangeram 4 modificações energéticas, 5 hídricas e 3 de materiais, e por meio delas atingiu-se as poupanças de 40,86%, 20,22% e 26,39%, respectivamente para energia, água e materiais.

A utilização das 12 medidas verdes por Marzouk (2023) acarretou na redução anual de GEEs por m² no valor de 5,5 kgCO₂e/m²/ano⁴⁵, a economia de energia de 18,02 kWh/m²/ano, economia de água de 67,5 L/pessoa/ano, a poupança de carbono incorporada nos materiais de 1,112 GJ/m². De acordo com Marzouk (2023), no entanto, houve um incremento no custo de 3,6 % do valor original da obra, o que corresponderia a US\$⁴⁶ 8.978,4⁴⁷. Segundo o estudo, o retorno do investimento foi considerado longo (23,2 anos) devido à previsão da economia anual nos custos de serviço público ficar no valor de US\$ 387.

Velázquez Robles, Picó e Hosseini (2022) realizaram intervenções em três habitações de interesse social (HIS) em países emergentes, e utilizaram a metodologia EDGE como apoio para direcionar as mudanças adequadas, ou seja, a fim de ter para analisar o desempenho ambiental. No estudo, as edificações estudadas estavam localizadas em climas tropicais, nos países México, Porto Rico e Indonésia, com área construída variando de 36 m² a 53 m², valor de compra de no máximo EUR⁴⁸ 15.000, sendo o resfriamento delas realizado por eletricidade através de ventiladores.

No estudo de Velázquez Robles, Picó e Hosseini (2022), eles adotaram diversas medidas nas categorias da Certificação EDGE, elas foram:

⁴⁵ Valor informado em kg para facilitar a leitura, por meio de números maiores.

⁴⁶ US\$ – sigla para a moeda *Dollar* estadunidense.

⁴⁷ Na data do estudo.

⁴⁸ EUR – sigla para a moeda Euro.

- Na categoria “Energia”, foram inseridas 11 medidas de eficiência, das quais se destacaram o uso de lâmpadas economizadoras de energia, ventiladores de teto, elementos de sombreamento e o uso de coletores solares de água quente;

- Na categoria “Água”, os autores utilizaram medidas como o uso de torneiras e chuveiros de baixo fluxo e sistema de coletas de águas pluviais que possibilitaram, de modo geral, a diminuição do consumo hídrico;

- Na categoria “Materiais”, os autores perceberam a grande contribuição dos elementos do sistema de cobertura nas cargas de resfriamento das edificações, então em duas habitações realizaram a troca dos componentes do telhado por outros de maior resistência térmica, possibilitando o resultado relatado anteriormente;

Velázquez Robles, Picó e Hosseini (2022) notaram que as estratégias de “Energia” quando associadas às estratégias de “Materiais”, conduziram à diminuição do consumo energético.

Isimbi e Park (2022) analisaram 17 conjuntos residenciais com a certificação EDGE na África do Sul, deste total em torno de 76 % correspondiam a edificações populares. Considerando a média, os empreendimentos economizaram 29,7% em energia, 31% em água, 54% em carbono incorporada nos materiais e 351,73 toneladas em emissões de CO₂, em relação ao “Caso-Base”. Os autores notaram a maior concentração de construções certificadas EDGE em cidades grandes.

Isimbi e Park (2022) perceberam que nos conjuntos residenciais analisados houve destaque na adoção de medidas para a promoção da eficiência em energia e água, buscando reduzir a demanda. Entre as medidas adotadas, pelos autores, na categoria “Energia” destacam-se a razão janela/parede (WWR⁴⁹), aberturas, iluminação eficiente, ventiladores de teto, entre outras. Isimbi e Park (2022) notaram que todos os empreendimentos tiveram taxa baixa de WWR, estratégia adequada para o clima quente do país.

Este fato é corroborado por EDGE (2021) que destaca que o WWR deve ser equilibrado, pois o vidro da janela favorece a troca de calor, em climas quentes um WWR alto pode demandar maiores cargas de resfriamento para a edificação.

⁴⁹ WWR – sigla para *Window Wall Ratio*.

As medidas de água e materiais também foram encontradas nos empreendimentos analisados por Isimbi e Park (2022), no entanto houve menos estratégias para a água em relação à energia. Segundo os autores, dentre as estratégias utilizadas, para a categoria água foram torneiras de baixo fluxo em cozinhas, chuveiros de baixo fluxo e sanitários de descarga dupla em banheiros, e na categoria Materiais, a medida que se destacou foi o uso de bloco de concreto denso.

Outro ponto importante se refere à Qualidade Ambiental Interna (IEQ⁵⁰), recurso que segundo Agyekum *et al.* (2023) não é considerado para a certificação EDGE, sendo verificado em outras GBLs. Portanto, segundo os autores, torna-se um fator importante o EDGE buscar atingir este quesito em seus edifícios certificados.

Diante disso, Agyekum *et al.* (2023) investigaram se uma edificação certificada EDGE em Ghana atendia a parâmetros de IEQ, com base em parâmetros utilizados por outras GBLs. A edificação estudada pelos autores, era de uso misto (lojas e escritórios), e os usuários selecionados foram os indivíduos que trabalhavam nos escritórios.

Agyekum *et al.* (2023) notaram quanto aos parâmetros de IEQ, os usuários indicaram: a necessidade de maior atenção e melhoria do desempenho nos quesitos conforto térmico, umidade, limpeza, qualidade do ar interno e qualidade acústica; que a iluminação artificial e o tamanho do espaço são parâmetros que estão sendo exageradamente atingidos, não necessitando de mais enfoque; que a iluminação natural, a vista externa e a privacidade visual não foram identificadas como tão relevantes e não demandam melhorias; a boa satisfação quanto ao desempenho *layout* do espaço, o qual não requer mais enfoque.

No estudo de Agyekum *et al.* (2023) quanto ao parâmetro “qualidade acústica”, citado pelos ocupantes como requisito que necessitava atenção para atender às expectativas, ele foi relacionado ao fato de que a maioria dos entrevistados trabalhava em escritórios sem ou com poucas divisórias.

Portanto, por ser uma certificação que foca em três recursos, o EDGE, pode não abranger tantos parâmetros de IEQ, mas configura-se como uma alternativa de GBL multiatributo mais enxuta frente a certificações mais custosas que dominam o mercado.

⁵⁰ IEQ – sigla para *Indoor Enviromental Quality*.

2.5. Programa Minha Casa Minha Vida

O programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV) foi criado em 2009 e permitiu redirecionar o investimento federal em habitação após anos da extinção do Banco Nacional de Habitação BNH (BNH), em 1986 (Euclides et al., 2022).

Em 2021, o MCMV foi extinto, dando lugar ao programa Casa Verde Amarela, contudo baseado no formato do anterior no que se refere ao financiamento por parte do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS) (Euclides *et al.*, 2022). Em 2023, retoma-se o MCMV em uma versão atualizada, sendo denominado “Novo MCMV” (Brasil, 2024).

Quanto à primeira versão (até 2021) e sob a qual se delimita essa pesquisa, o MCMV é reconhecido como uma política federal de habitação, por meio da qual se realiza, em grande escala, a produção e o financiamento de habitações (Acolin; Hoek-Smit; Eloy, 2019). Apresenta críticas, como destacado por Acolin e Green (2017) como o foco na construção de moradias priorizando o custo e o padrão construtivo, em detrimento à localização do empreendimento.

O MCMV divide-se em faixas de renda abrangidas e modalidades, as quais se modificaram ao longo da existência do programa (Euclides *et al.*, 2022). O MCMV abrange as modalidades urbana e rural, a primeira por meio do Programa Nacional de Habitação Urbana (PNHU) e a segunda através do Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR) (Brasil, 2020).

A modalidade urbana do MCMV, e sobre a qual esta pesquisa se delimita, iniciou abrangendo duas faixas (2 e 3) destinadas a famílias de renda moderada, posteriormente integrou a faixa 1, possibilitando atender famílias de renda baixa (Acolin; Hoek-Smit; Eloy, 2019). As faixas urbanas do programa foram divididas e direcionadas de acordo com a renda familiar dos beneficiários, no ano de 2011: a faixa 1 situava renda familiar de até três salários mínimos, o que correspondia a R\$ 1.600,00; na faixa 2 concentrava-se em famílias com renda de R\$ 1.600,00 a R\$ 3.275,00; já na faixa 3, renda familiar de R\$ 3.275,00 até R\$ 5.400,00 (Brasil; 2014; Krause; Balbim; Lima Neto, 2013).

Os empreendimentos da faixa 1 eram financiados através do Fundo de Arrendamento Residencial (FAR), e em cidades menores, por meio da Oferta Pública de Recursos (OPR); outra modalidade urbana que atendia famílias da faixa 1 era a MCMV-Entidades (MCMV-E), mas neste caso, se utilizava da participação das famílias beneficiárias na construção das unidades, por meio de recursos do Fundo de Desenvolvimento Social (FDS) (Balbim; Krause; Lima Neto, 2015).

Tanto o FAR quanto o FDS contam com os recursos do Orçamento Geral da União (OGU) possibilitando maior subsídio aos beneficiários, já as unidades das faixas 2 e 3 eram produzidas com recursos do FGTS (Balbim; Krause; Lima Neto, 2015).

No ano de 2016, surgiu uma nova faixa a “1,5”, que ficava entre a faixa 1 e a faixa 2 (com valores atualizados) e compreendia beneficiários com renda familiar entre R\$ 1.800,00 a R\$ 2.350,00, utilizando recursos do OGU e FGTS (Brasil, 2020).

Especificamente na faixa 1, no tocante ao financiamento pelo FAR cada família beneficiária paga o valor mensal de 5% sobre sua renda, por 10 anos, como prestação da sua unidade habitacional (Krause; Balbim; Lima Neto, 2013), após este período recebe o título da propriedade, o valor total pago corresponde em média a 10% do valor total da unidade (Acolin; Hoek-Smit; Eloy, 2019).

Segundo Brasil (2014) do período de 2009 a 2014 em torno de 46% dos beneficiários eram da faixa 1, colocando-se esta faixa com a maior quantidade de subsídio, no entanto, era caracterizada como a faixa com a maior concentração do *déficit* habitacional. Já Brasil (2020) destaca que de 2009 até 2020 contratou-se um total de 5,5 milhões de unidades totalizando R\$ 463,7 bilhões, sendo a maioria das contratações para a faixa 2, seguida da faixa 1. Ainda de acordo com autor, entre as unidades contratadas entregou-se 83,3 % do total, contabilizando 4,1 milhões de unidades entregues até 2020.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Silva e Menezes (2005) abordam que a realização da pesquisa envolve a escolha de um tema e a definição de um problema relacionado, ou seja, ela é utilizada quando se apresentam indagações sem soluções propostas.

Corroborando com Gil (2002) que considera que uma pesquisa visa, de modo geral, suscitar soluções para problemas identificados, e para isto ela demanda várias fases, porquanto é um procedimento sistemático que engloba desde a identificação do problema até a finalização com a apresentação dos resultados.

Severino (2007) defende que o conhecimento científico é gerado por meio do levantamento de dados empíricos e interpretação por meio da teoria, e que para este levantamento de informações existem diversas formas e métodos que podem ser utilizados. Yin (2001) declara que a questão de pesquisa irá direcionar a estratégia de pesquisa a ser utilizada. Silva e Menezes (2005) destacam que uma pesquisa pode mesclar diferentes metodologias.

Gil (2002) apresenta duas formas de classificar as pesquisas: a primeira classificação serve para o marco teórico, ou base conceitual, e classifica-as quanto aos objetivos em exploratórias, descritivas e explicativas; enquanto a segunda classificação, divide-as quanto ao método utilizado para a coleta de dados, que pode ser bibliográfica, documental, *ex-post facto*, levantamento, estudo de caso, pesquisa-ação e pesquisa participante, este tipo de classificação permite traçar o delineamento da pesquisa.

O desenvolvimento do método desta pesquisa foi baseado no Referencial Teórico, visando contribuir para a linha de pesquisa abordada. Para a realização desse estudo, optou-se por utilizar a classificação de Gil (2002). Primeiramente, por meio do enquadramento em pesquisa Exploratória e Descritiva, justificado a seguir:

- ✓ Optou-se pela pesquisa exploratória a fim de conhecer a realidade dos empreendimentos verticais pertencentes ao programa “Minha Casa Minha Vida” na cidade de Belém. Para isto, como descrito por Gil (2002) faz-se necessário se aproximar do problema e torná-lo visível;
- ✓ A adesão a pesquisa descritiva surgiu da necessidade de detalhar as condições em que foram construídos os empreendimentos MCMV. Pois, segundo Gil (2002) este tipo de pesquisa permite demonstrar as características do objeto de estudo.

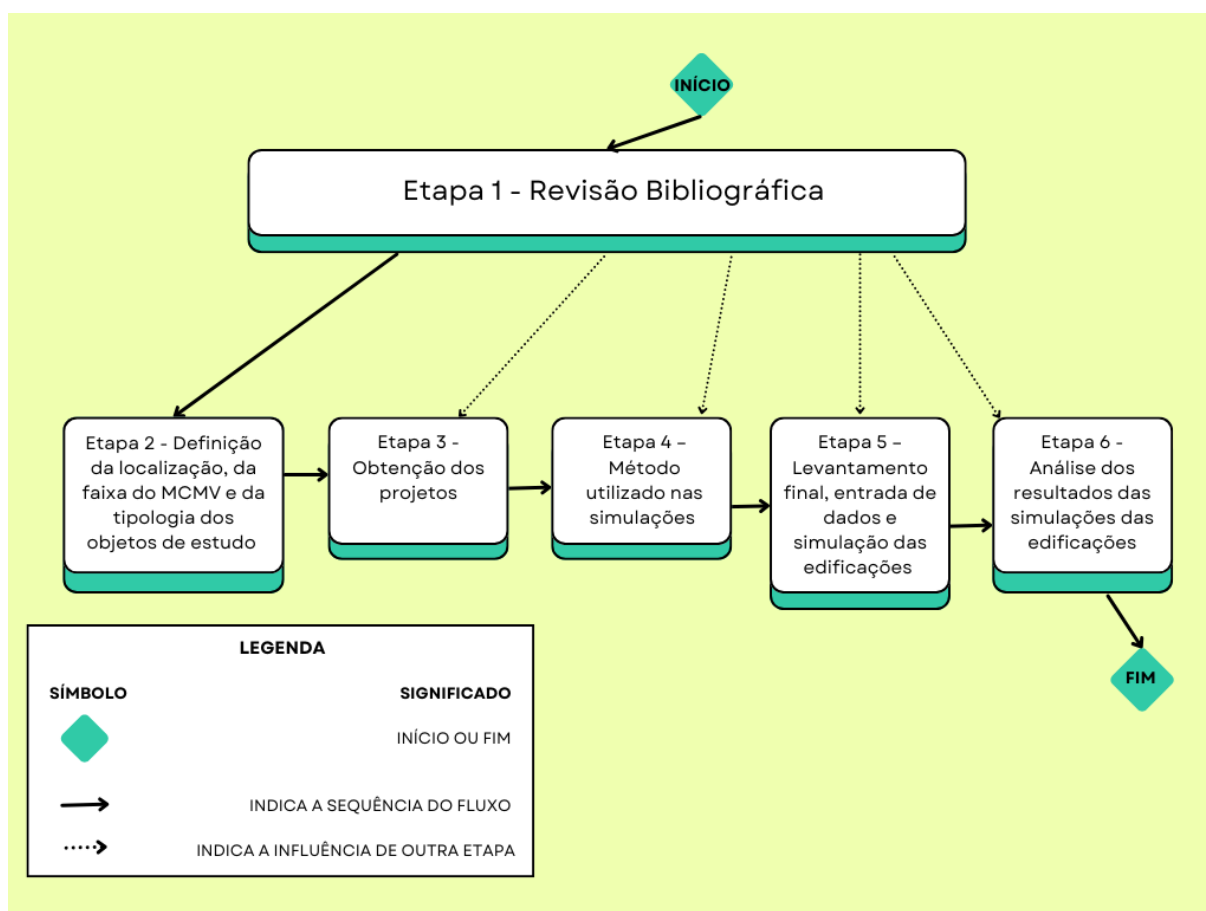
Posteriormente, para executar o delineamento da pesquisa, o qual segundo Gil (2002) serve como um roteiro a seguir para a coleta de informações, escolheram-se os métodos abaixo:

- ✓ Levantamento: a fim de coletar informações sobre os projetos residenciais dos empreendimentos verticais MCMV na cidade de Belém. Para isto faz-se necessário contato com pessoas que trabalham no setor;
- ✓ *Ex-post facto*: a pesquisa se enquadra nesta tipologia pois, segundo Gil (2002) o pesquisador não tem como manipular as condições que interferiram no resultado, visto que serão analisados projetos de obras já concluídas.

Esta pesquisa foi direcionada por meio de etapas a serem realizadas, as quais são divididas em 6 (seis) e apresentadas na Figura 2.

As fases consistem em: Etapa 1 – Revisão bibliográfica; Etapa 2 – Definição da localização, da faixa do MCMV e da tipologia dos objetos de estudo; Etapa 3 – Obtenção dos projetos; Etapa 4 – Método utilizado nas simulações; Etapa 5 – Levantamento final, entrada de dados e simulação das edificações; Etapa 6 – Análise dos resultados das simulações das edificações.

Figura 2 – Fluxograma das etapas do método de pesquisa do trabalho.



Fonte: Autora (2025).

3.1. Etapa 1 – Revisão bibliográfica

Esta primeira fase do trabalho visou pesquisar em fontes da literatura nacional e internacional trabalhos que pudessem abranger a temática “Certificação EDGE”. Para isto, utilizou-se das plataformas de pesquisa: Web of Science; Scopus; Science Direct; Portal de Periódicos Capes e Scielo.

Primeiramente, investigaram-se assuntos relacionados à temática, utilizando-se termos em inglês e português, por meio de palavras-chave como: “EDGE certified”; “EDGE certification”; “Excellence in Design for Greater Efficiencies”; “Excelência em Projeto para Maior Eficiência”; “green building”; “habitação de interesse social”. Por meio dos trabalhos encontrados foi possível identificar a escassez de artigos científicos na temática.

Posteriormente, formulou-se a pergunta de pesquisa e definiram-se os objetivos. A partir desta ação a pesquisa bibliográfica tornou-se mais específica, abrangendo novas palavras-chave como: “PMCMV”; “MCMV”; “green building label”; “social housing”; “decarbonisation”; “energy performance”.

Por meio da revisão bibliográfica identificaram-se trabalhos que basearam a pesquisa em questão, como os artigos de Isimbi e Park (2022) e Velázquez Robles, Picó e Hosseini (2022) que utilizaram o EDGE *app* no contexto de habitações de interesse social, e o trabalho de Marzouk (2023) que utilizou os indicadores do EDGE *app* como métricas para a sustentabilidade.

Então, com base na pesquisa bibliográfica realizou-se o referencial teórico que baseou o método de pesquisa a ser utilizado neste trabalho. A pesquisa bibliográfica é uma etapa que permanece durante o desenvolver de todo o trabalho em questão.

3.2. Etapa 2 - Definição da localização, da faixa do MCMV e da tipologia dos objetos de estudo

Esta segunda etapa, norteia a fase exploratória dessa pesquisa, porquanto visa delimitar a fronteira de estudo, por meio da definição da localização, da faixa e da tipologia das edificações a serem estudadas.

A escolha pela cidade de Belém para esse estudo é devido a diversos pontos: à localização desta cidade na região amazônica, a qual é importante para o contexto global; à relevância da capital paraense para a região Norte; à inserção da cidade de Belém na Zona Bioclimática Brasileira 6A da NBR 15220-3 (ABNT, 2024), podendo representar todas as cidades localizadas na mesma.

Modelar empreendimento da faixa 1 do MCMV, primeiramente foi uma decisão baseada no acesso e na disponibilidade de projetos, informações e dados desta faixa, por empresas da localidade. O que não foi possível em outras faixas do programa. Em segundo

plano, refere-se ao fato de que as populações abrangidas pela faixa 1 apresentam renda familiar menor, concentram a maior parte do *déficit* habitacional (Brasil, 2014) e são mais vulneráveis às mudanças climáticas.

Este trabalho visou modelar 3 empreendimentos, em que cada um se refere a um conjunto habitacional na cidade de Belém/PA com edificações da tipologia “apartamento”. As edificações verticais apresentam 4 pavimentos. E a opção pela tipologia apartamento refere-se ao fato de que nesta seria maior a possibilidade de inserir estratégias construtivas (de eficiência energética, hídrica e em materiais) e beneficiar um maior número de moradores em comparação à conjuntos habitacionais horizontais.

Vale frisar que os 3 empreendimentos apresentam sistemas construtivos diferentes e possibilitam representar a maioria dos empreendimentos MCMV na cidade de Belém. Os empreendimentos a serem simulados, neste estudo, foram denominados A, B e C, a fim de preservar a identidade das construtoras e dos residentes.

3.3. Etapa 3 - Obtenção dos projetos

A etapa 3 marca a fase exploratória deste trabalho, assim como o início da fase descritiva. Por meio das abordagens metodológicas de Levantamento e *Ex-post facto*, foram realizados contatos com profissionais de empresas construtoras que executaram empreendimentos MCMV na cidade de Belém, para os quais, solicitou-se os projetos e arquivos dos empreendimentos verticais concluídos pertencentes ao programa MCMV, dentro do período de 2009 a 2021.

Esta etapa se refere ao levantamento inicial que possibilitou obter, por meio dos arquivos digitais fornecidos pelas empresas, os seguintes dados: projetos arquitetônicos, elétricos, hidráulicos e estruturais, todos no formato DWG; memoriais descritivos; e orçamentos.

3.4. Etapa 4 – Método utilizado nas simulações

3.4.1. Metodologia EDGE

Esta etapa se refere ao conhecimento da Metodologia EDGE. Destaca-se que nesse trabalho, utilizou-se o aplicativo na Versão 3.0.0, e será tratada desta.

3.4.1.1. *Software* EDGE: Elementos base

Em primeiro plano, é importante destacar que a certificação EDGE está atrelada à simulação do empreendimento, a ser certificado, no *software* EDGE. Em segundo lugar, a Metodologia EDGE é representada por este *software*, que apresenta estratégias de construção verde (Velázquez Robles, Picó, Hosseini, 2022) e banco de dados personalizados para o local em que está inserida a edificação simulada (Marzouk, 2023), são exemplos os fatores de emissão e, custos de construção e de combustíveis de acordo com a moeda vigente (EDGE, 2024d; EDGE *app*, 2025).

Para construir este banco de dados a nível local, o *software* foi aprimorado com o apoio de instituições localizadas nos países englobados pela certificação (EDGE, 2019; Velázquez Robles, Picó, Hosseini, 2022). A abordagem do EDGE *app* é por meio de análise preditiva (DfGE, 2025) e quantitativa (Corcuera, 2023a). Isto ocorre, por meio de cálculos do *software* EDGE, que segundo EDGE (2019, p.1, tradução nossa) geram as previsões baseadas nos elementos “Dados climáticos e Uso de recursos; Tipologia construtiva e uso; Projeto”.

Estes elementos são construídos cada um, através de um conjunto de informações, as quais são alimentadas a partir dos dados-padrão do *software* EDGE, os quais são baseados em seu banco de dados e suposições. O quadro 1 retrata a origem dos dados-padrão e as informações, que juntos compõem os elementos do Sistema EDGE.

Vale ressaltar que a Cidade de Belém/PA é uma das que estão incorporadas na plataforma EDGE *app* e apresenta dados relacionados ao contexto dela.

Quadro 1 – Elementos que regem os cálculos preditivos e origem de seus dados.

Elemento	Informações	Origem dos Dados-padrão	Referências
Dados climáticos e Uso de recursos	-Valores atmosféricos e climáticos: Temperatura média mensal (°C); Umidade relativa média mensal (%); Velocidade do vento média mensal (m/s);	Banco de dados de acordo com a localização da cidade, apenas para as cidades disponíveis no EDGE <i>app</i> .	EDGE (2019); EDGE (2021); EDGE <i>app</i> (2025).

Elemento	Informações	Origem dos Dados-padrão	Referências
	<p>Precipitação média anual (mm/ano);</p> <p>Intensidade da radiação Solar;</p> <p>Altitude (m) e Latitude (graus);</p> <p>Zona Climática ASHRAE.</p> <p>- Valores de recursos:</p> <p>Custo médio (R\$/unidade do combustível) e fator de emissão de CO₂, (kg de CO₂/kWh) por fonte energética utilizada na edificação;</p> <p>Custo médio de água (R\$).</p>		
Tipologia construtiva e uso	<p>- Informações como:</p> <p>Dimensões;</p> <p>Taxa de ocupação;</p> <p>Áreas (dos cômodos, de iluminação, etc.)</p>	De acordo com a tipologia e o padrão construtivo selecionado pelo usuário, o EDGE realiza as suposições relacionadas aos itens necessários e ao período de operação da edificação.	EDGE (2019)
Projeto	- Comparação dos dados do “Caso-Base” com os dados inseridos pelo usuário (Caso-Aprimorado).	Os dados-padrão são os valores do “Caso-Base”. O “Caso-Base” é gerado sobre influência de dois fatores: a tipologia construtiva e a localização da edificação. Por meio deles, o “Caso-Base” reflete a prática construtiva predominante nos últimos 3 anos consecutivos na localidade.	EDGE (2019), EDGE (2021).

Fonte: Elaborado pela Autora (2025) adaptado de EDGE (2019), EDGE (2021), EDGE *app* (2025).

E, por meio dos elementos, descritos no Quadro 1, e da interação deles, é fornecida a estrutura para os cálculos que irão gerar o consumo energético, hídrico e carbono incorporado da edificação inserida (EDGE, 2019).

A linha base será adotada para o “Caso-Base”, conforme descrito no elemento “Projeto” (Quadro 1) e, ela se refere à prática construtiva que norteará as medidas de eficiência nas três categorias da certificação: energia, água e materiais.

De acordo com EDGE (2021; 2024a; 2024b; 2024c), o “Caso-Base” é também denominado “Linha de base EDGE”, e nas categorias “energia” e “água” existem 4 opções para definir a linha-base, as quais são:

- Em caso de economias consolidadas se utiliza como padrão a norma ASHRAE 90.1⁵¹ (2016);
- Já no caso de economias emergentes e país com código de construção com alta adoção em toda a localidade, utiliza-se a linha base em nível de país;
- Em economia emergente e país com adoção desigual dos códigos ou cidades com normas distintas em razão das variáveis climáticas, a linha base é em nível de cidade;
- A última opção para economia emergente é o uso de padrões gerais, de ordem global, existentes em economias em crescimento, sob o nome de linha de base global EDGE.

Diversamente ocorre na categoria “materiais”, na qual a norma ASHRAE 90.1 (2016) não pode ser utilizada como linha base (EDGE, 2024c), sendo empregue apenas as opções descritas anteriormente voltadas para as economias em desenvolvimento.

Os dados gerados para o “Caso-Base” permitirão o cálculo do desempenho da edificação referencial, denominada “Caso-Base” (EDGE, 2021; 2024a). Já os valores inseridos pelo usuário no EDGE *app*, comporão as propriedades da edificação simulada (Caso-Aprimorado), por meio das quais se calculará o desempenho dela.

Ou seja, à medida que são inseridas as “entradas do usuário” referente ao seu projeto, as “saídas no EDGE *app*” se atualizam e se tornam mais precisas, e somente aparecerão as economias, após a comparação entre os casos base e o aprimorado, conforme se adotam as

⁵¹ ASHRAE 90.1: Norma de energia para locais e edifícios, exceto edifícios residenciais de baixa altura.

medidas de eficiência no projeto (EDGE, 2019). Os resultados destas estratégias selecionadas, serão visíveis segundo EDGE (2024c) por meio de gráficos que comparam os desempenhos.

Para que os dados de saída sejam gerados, necessita-se dos dados de entrada, para isto são imperativos diversos cálculos. Nesse trabalho, foram utilizados cálculos tanto na Aba Projeto, como exemplo o cálculo da área de iluminação, assim como outros quando se selecionavam as estratégias de eficiência nas abas referentes às categorias Energia, Água e Materiais. No entanto, devido à extensão deles recomenda-se a consulta dos manuais e arquivos da metodologia EDGE disponíveis no site do aplicativo. O item a seguir realizará uma breve abordagem dos cálculos necessários para inserir dados, utilizados nesse estudo.

3.4.1.2. Breve abordagem dos cálculos para a entrada de dados

Esse item retrata alguns cálculos necessários para a entrada de dados, pelo usuário, no *software* EDGE. Vale ressaltar que estão relacionados à tipologia construtiva “Apartamentos”, no subtipo “Baixa renda”, com tipologia única nas unidades em cada empreendimento. Podendo haver mudanças nos cálculos a seguir, caso seja outra tipologia construtiva e outros contextos. Nesse estudo, os cálculos foram divididos da seguinte forma:

a. Cálculos pertencentes à metodologia EDGE

Na metodologia EDGE, utiliza-se o conceito de área construída por meio do cálculo do GIA⁵² (Área interna bruta), no qual a área é medida a partir da face interna das paredes externas da edificação até o centro da face das paredes internas (EDGE, 2021). Para a tipologia apartamentos, sugere-se primeiramente calcular a “Área da unidade tipo”, a qual é dada por meio do cálculo da área de seus cômodos e, segundo EDGE (2021) caso haja estacionamento interno considerar também. Posteriormente, para calcular a área comum, Corcuera (2024) sugere o cômputo das áreas cobertas comuns dentro da edificação, com esse valor realiza-se a divisão pelo nº de unidades da edificação, obtendo-se a “fração de área comum”.

Em posse das áreas calculadas, é necessário inserir no *software* EDGE, em sua Aba Projeto:

- Na seção “Dados da construção”, o “nº total de apartamentos” e a “Área média residencial”, esta última se refere a soma da “Área da unidade tipo” com a “fração da área comum”;

⁵² Sigla para *Gross Internal Area*.

- Na seção “Desagregação de Áreas e Cargas”, as áreas que compõem a “Área da unidade tipo” devem ser inseridas nos campos “Quarto”, “Cozinha”, “Refeitório”, “Sala de Estar”, “Banheiro”, “Sacada” e “Estacionamento interno”, já a “fração de área comum” segundo (Corcuera, 2023b), deve ser inserida no campo “Corredor, Escadaria e Elevador”. A soma destas áreas deve coincidir com a “Área média residencial” inserida em “Dados da construção”.

Com estes dados inseridos será calculado automaticamente o GIA, segundo a Equação (1) voltada para a modalidade apartamentos. O GIA será o somatório de todas as áreas cobertas na edificação (EDGE, 2024d) e corresponderá à “área interna bruta do subprojeto” (EDGE (2021, p.39). Vale frisar que nesse trabalho utilizou-se como subprojeto um bloco de apartamentos. Portanto, o GIA será referente ao Bloco.

$$n^{\circ} \text{ total de apartamentos} \times \text{Área média residencial} \quad (1)$$

Onde:

Equação (1) = Área interna bruta (GIA), dado em m²;

n^o total de apartamentos = n^o de apartamentos por bloco (adimensional);

Área média residencial = Soma da Área da unidade com a fração de área comum (dado em m²).

Outro cálculo realizado pelo EDGE, se refere à área útil total do projeto, para isto na Aba Projeto, foi necessário inserir, na seção “Detalhes do subprojeto”, o “Multiplicador do subprojeto para o projeto” referente ao n^o de vezes que se repetia o bloco no empreendimento, dado que nesse trabalho utilizou-se como subprojeto um bloco de apartamentos. Neste sentido, a Equação (2) demonstra o cálculo da área útil do projeto.

$$\text{Multiplicador do subprojeto para o projeto} \times \text{GIA} \quad (2)$$

Onde:

Equação (2) = Área útil total do projeto, dado em m²;

Multiplicador do subprojeto para o projeto = n^o de vezes que se refere o subprojeto

GIA = área interna bruta do subprojeto.

Ainda na Aba Projeto, vale frisar que o EDGE *app* utiliza o conceito de “altura de piso a piso”, portanto segundo EDGE (2024a) deve ser inserida a distância entre os pisos acabados dos pavimentos.

Já na Categoria Materiais, nas estratégias Paredes Externas e Paredes Internas, respectivamente, as medidas MEM05* e MEM06 demandam a entrada “espessura”, a qual deve obedecer a limites mínimo e máximo, baseados na tabela 5 (EDGE, 2024c) para a medida MEM05* e, na tabela 7 (EDGE, 2024c) para a MEM06*.

O item a seguir retrata um cálculo auxiliar, que não está disposto na Metodologia EDGE, e que foi necessário para esse trabalho.

b. Cálculo auxiliar utilizado nesse trabalho: Taxa de reforço de aço

Na categoria Materiais, as estratégias relacionadas ao piso (MEM01*, MEM02*) e à cobertura (MEM04*) demandaram as informações geradas pela Equação (3), para a inserção de dados.

Nestas três estratégias supracitadas são solicitadas as seguintes informações: tipo de piso/cobertura, proporção do tipo na edificação (em %), espessura (em mm) e taxa de reforço de aço (kg/m^2). Todas as informações anteriormente descritas podem ser consultadas diretamente nos projetos estruturais, exceto a taxa de reforço de aço (kg/m^2).

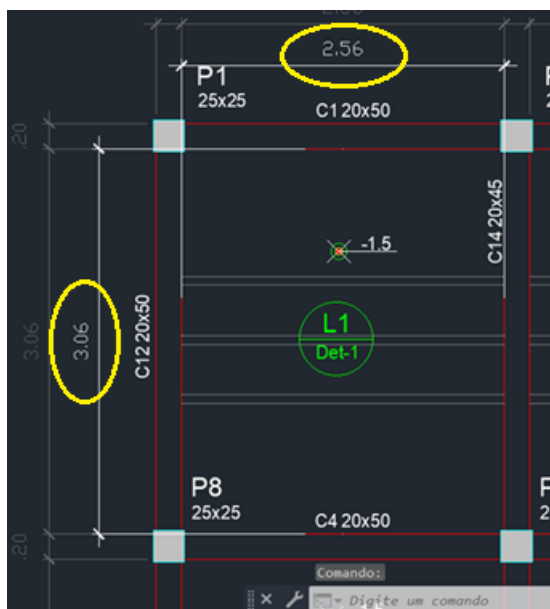
Para calcular a taxa de reforço de aço, como demonstrado na Equação (3), são necessários dois componentes. O primeiro elemento é o "Total de aço nas lajes do pavimento" se refere ao total de aço nas lajes que compõem o pavimento. Para calcular esta componente, primeiramente considerou-se que, com base na informação de EDGE (2021), as medidas MEM01* e MEM02* se delimitam apenas ao elemento estrutural laje, e MEM04* ao telhado estrutural. Então a partir desta premissa, adaptou-se método de Belizario-Silva et al. (2024) para esse trabalho, a fim de contabilizar o total de aço distribuído.

Conforme Belizario-Silva et al. (2024), o método evita a dupla contagem, para isto são desagregados os elementos estruturais em pilares, vigas e lajes, e se contabiliza o aço contido na superfície das lajes (ou seja, entre as vigas), sem inserir o comprimento de aço que passa para outros elementos. Este procedimento foi realizado nas lajes.

O segundo elemento é a “Superfície total de lajes no pavimento”, este corresponde à soma de todas as lajes do pavimento, considerando as dimensões a partir cota interna de cada

uma, como na Figura 3 (destaque em amarelo). Por fim, realizou-se a Equação (3), obtendo-se a taxa de reforço de aço. A utilização da equação (3) e do método de Belizario-Silva et al. (2024) ocorreu nos empreendimentos A, B e C.

Figura 3 – Destaque das cotas das lajes, exemplo no empreendimento A.



Fonte: Autora (2025).

$$\frac{\text{Total de aço nas lajes do pavimento}}{\text{Superfície total de lajes no pavimento}} \quad (3)$$

Onde:

Equação (3) = Taxa de reforço de aço (kg/m²);

Total de aço nas lajes do pavimento = (dado em kg);

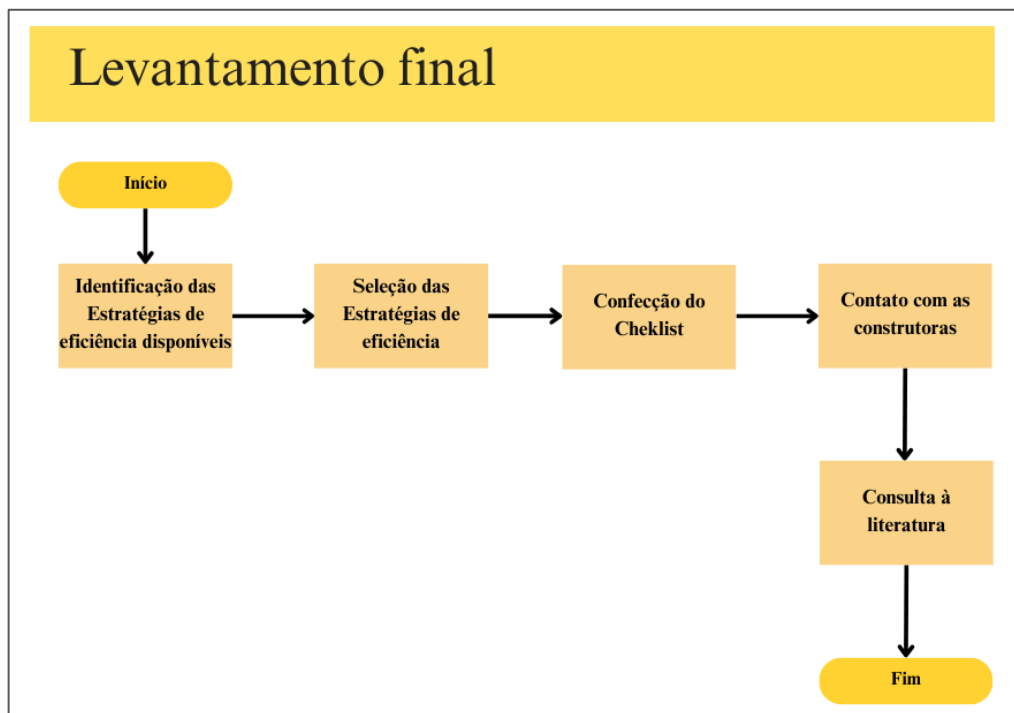
Superfície total de lajes no pavimento = dado em m².

3.5. Etapa 5 - Levantamento final, entrada de dados e simulação das edificações

A etapa 5 apresenta a continuidade da fase descritiva desse trabalho. Esta etapa utilizou as abordagens de Levantamento e *Ex-post facto*. A etapa 5 trata do levantamento final de informações, assim como as simulações realizadas e os cálculos gerados automaticamente na plataforma EDGE para a previsão de desempenho nas edificações.

Além do levantamento inicial realizado na Etapa 3 verificou-se, na Metodologia EDGE e no decorrer das simulações, a necessidade de maiores informações dos empreendimentos para a utilização da ferramenta EDGE *app*, para isto delimitou-se o procedimento “Levantamento final” que seguiu o fluxograma da Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma do procedimento “Levantamento Final”.



Fonte: Autora (2025).

Primeiramente, foram identificadas as estratégias que *Software* EDGE disponibilizava para os projetos, elas se encontram descritas no Quadro 2. A disponibilização delas depende da tipologia construtiva, do padrão construtivo (denominado Subtipo) da edificação e de informações inseridas na Aba Projeto (como exemplo, uso de combustível para água quente).

As estratégias são identificadas de acordo com a categoria das quais fazem parte, por meio de siglas, e de acordo com seu número na sequência, ao lado da sigla, como: as siglas com iniciais EMM, identificam as estratégias de Energia; as siglas de iniciais WEM se referem as estratégias de Água; e as siglas com MEM identificam as medidas de Materiais.

Algumas delas são obrigatórias sendo marcadas pelo asterisco (*), outras são facultativas, nas obrigatórias devem ser inseridas as especificações reais dos projetos, mesmo que isso não melhore o desempenho (EDGE, 2024e).

Vale frisar que a fim de representar o comportamento da maioria das edificações, em cada empreendimento realizou-se a simulação do bloco com orientação solar predominante entre eles.

Quadro 2 – Estratégias de eficiência disponíveis, para cada empreendimento, no EDGE *app*.

Categoria	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Energia	<p>São 25 medidas, as quais são:</p> <p>EEM01* Proporção janela-parede</p> <p>EEM02 Telhado Refletivo</p> <p>EEM03 Paredes Externas Refletivas</p> <p>EEM04 Dispositivos de sombreamento externo</p> <p>EEM05* Isolamento do telhado</p> <p>EEM06* Isolamento de laje de piso elevado/térreo</p> <p>EEM07 Telhado Verde</p> <p>EEM08* Isolamento de Paredes Exteriores</p> <p>EEM09* Eficiência do vidro</p> <p>EEM10 Infiltração de ar no envelope</p> <p>EEM11 Ventilação natural</p> <p>EEM12 Ventiladores de teto</p> <p>EEM15 Sistema de pré-condicionamento de ar fresco</p> <p>EEM18* Sistema de Água Quente Sanitária (AQS)</p> <p>EEM19 Sistema de pré-aquecimento de água quente sanitária</p> <p>EEM22 Iluminação Eficiente para Áreas Internas</p> <p>EEM23 Iluminação Eficiente para Áreas Externas</p> <p>EEM24 Controles de iluminação</p> <p>EEM26 Ventilação de controle de demanda para estacionamento usando sensores de CO</p> <p>EEM29 Geladeiras e máquinas de lavar roupa eficientes</p> <p>EEM30 Submedidores para sistemas de aquecimento e/ou resfriamento</p>	<p>São 25 medidas, as quais são:</p> <p>EEM01* Proporção janela-parede</p> <p>EEM02 Telhado Refletivo</p> <p>EEM03 Paredes Externas Refletivas</p> <p>EEM04 Dispositivos de sombreamento externo</p> <p>EEM05* Isolamento do telhado</p> <p>EEM06* Isolamento de laje de piso elevado/térreo</p> <p>EEM07 Telhado Verde</p> <p>EEM08* Isolamento de Paredes Exteriores</p> <p>EEM09* Eficiência do vidro</p> <p>EEM10 Infiltração de ar no envelope</p> <p>EEM11 Ventilação natural</p> <p>EEM12 Ventiladores de teto</p> <p>EEM15 Sistema de pré-condicionamento de ar fresco</p> <p>EEM18* Sistema de Água Quente Sanitária (AQS)</p> <p>EEM19 Sistema de pré-aquecimento de água quente sanitária</p> <p>EEM22 Iluminação Eficiente para Áreas Internas</p> <p>EEM23 Iluminação Eficiente para Áreas Externas</p> <p>EEM24 Controles de iluminação</p> <p>EEM26 Ventilação de controle de demanda para estacionamento usando sensores de CO</p> <p>EEM29 Geladeiras e máquinas de lavar roupa eficientes</p>	<p>São 24 medidas, as quais são:</p> <p>EEM01* Proporção janela-parede</p> <p>EEM02 Telhado Refletivo</p> <p>EEM03 Paredes Externas Refletivas</p> <p>EEM04 Dispositivos de sombreamento externo</p> <p>EEM05* Isolamento do telhado</p> <p>EEM06* Isolamento de laje de piso elevado/térreo</p> <p>EEM07 Telhado Verde</p> <p>EEM08* Isolamento de Paredes Exteriores</p> <p>EEM09* Eficiência do vidro</p> <p>EEM10 Infiltração de ar no envelope</p> <p>EEM11 Ventilação natural</p> <p>EEM12 Ventiladores de teto</p> <p>EEM15 Sistema de pré-condicionamento de ar fresco</p> <p>EEM19 Sistema de pré-aquecimento de água quente sanitária</p> <p>EEM22 Iluminação Eficiente para Áreas Internas</p> <p>EEM23 Iluminação Eficiente para Áreas Externas</p> <p>EEM24 Controles de iluminação</p> <p>EEM26 Ventilação de controle de demanda para estacionamento usando sensores de CO</p> <p>EEM29 Geladeiras e máquinas de lavar roupa eficientes</p> <p>EEM30 Submedidores para sistemas de aquecimento e/ou resfriamento</p>

Categoria	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
	<p>EEM31 Medidores inteligentes para energia</p> <p>EEM32 Correções do fator de potência</p> <p>EEM33 Energia renovável no local</p> <p>EEM34 Outras medidas de economia de energia</p>	<p>EEM30 Submedidores para sistemas de aquecimento e/ou resfriamento</p> <p>EEM31 Medidores inteligentes para energia</p> <p>EEM32 Correções do fator de potência</p> <p>EEM33 Energia renovável no local</p> <p>EEM34 Outras medidas de economia de energia</p>	<p>EEM31 Medidores inteligentes para energia</p> <p>EEM32 Correções do fator de potência</p> <p>EEM33 Energia renovável no local</p> <p>EEM34 Outras medidas de economia de energia</p>
Água	<p>São 12 medidas, as quais são:</p> <p>WEM01* Chuveiros com baixo consumo de água</p> <p>WEM02* Torneiras com eficiência hídrica para todos os banheiros</p> <p>WEM04* Sanitários Eficientes para Todos os Banheiros</p> <p>WEM06 Bidé com baixo consumo de água</p> <p>WEM08* Torneiras com eficiência hídrica para pias de cozinha</p> <p>WEM11 Máquinas de lavar com eficiência hídrica:</p> <p>WEM12 Coberturas de piscinas</p> <p>WEM13 Sistema de irrigação paisagística com eficiência hídrica</p> <p>WEM14 Sistema de Captação de Água Pluvial</p> <p>WEM15 Sistema de Tratamento e Reciclagem de Águas Residuais</p> <p>WEM16 Recuperação de Água Condensada</p> <p>WEM17 Medidores inteligentes para água</p>	<p>São 12 medidas, as quais são:</p> <p>WEM01* Chuveiros com baixo consumo de água</p> <p>WEM02* Torneiras com eficiência hídrica para todos os banheiros</p> <p>WEM04* Sanitários Eficientes para Todos os Banheiros</p> <p>WEM06 Bidé com baixo consumo de água</p> <p>WEM08* Torneiras com eficiência hídrica para pias de cozinha</p> <p>WEM11 Máquinas de lavar com eficiência hídrica:</p> <p>WEM12 Coberturas de piscinas</p> <p>WEM13 Sistema de irrigação paisagística com eficiência hídrica</p> <p>WEM14 Sistema de Captação de Água Pluvial</p> <p>WEM15 Sistema de Tratamento e Reciclagem de Águas Residuais</p> <p>WEM16 Recuperação de Água Condensada</p>	<p>São 12 medidas, as quais são:</p> <p>WEM01* Chuveiros com baixo consumo de água</p> <p>WEM02* Torneiras com eficiência hídrica para todos os banheiros</p> <p>WEM04* Sanitários Eficientes para Todos os Banheiros</p> <p>WEM06 Bidé com baixo consumo de água</p> <p>WEM08* Torneiras com eficiência hídrica para pias de cozinha</p> <p>WEM11 Máquinas de lavar com eficiência hídrica:</p> <p>WEM12 Coberturas de piscina</p> <p>WEM13 Sistema de transparência paisagística com economia hídrica</p> <p>WEM14 Sistema de captação de água da chuva</p> <p>WEM15 Sistema de tratamento e reciclagem de águas residuais</p> <p>WEM16 Recuperação de água condensada</p> <p>WEM17 Medidores Hídricos Inteligentes</p>

Categoria	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
		WEM17 Medidores inteligentes para água	
Materiais	<p>São 11 medidas, as quais são:</p> <p>MEM01* Construção do piso inferior</p> <p>MEM02* Construção de piso intermediário</p> <p>MEM03* Acabamento do piso</p> <p>MEM04* Construção de telhados</p> <p>MEM05* Paredes exteriores</p> <p>MEM06* Paredes interiores</p> <p>MEM07* Molduras de janelas</p> <p>MEM08* Vidros de janelas</p> <p>MEM09* Isolamento de telhado</p> <p>MEM10* Isolamento de parede</p> <p>MEM11* Isolamento de piso</p>	<p>São 11 medidas, as quais são:</p> <p>MEM01* Construção do piso inferior</p> <p>MEM02* Construção de piso intermediário</p> <p>MEM03* Acabamento do piso</p> <p>MEM04* Construção de telhados</p> <p>MEM05* Paredes exteriores</p> <p>MEM06* Paredes interiores</p> <p>MEM07* Molduras de janelas</p> <p>MEM08* Vidros de janelas</p> <p>MEM09* Isolamento de telhado</p> <p>MEM10* Isolamento de parede</p> <p>MEM11* Isolamento de piso</p>	<p>São 11 medidas, as quais são:</p> <p>MEM01* Construção do piso inferior</p> <p>MEM02* Construção de piso intermediário</p> <p>MEM03* Acabamento do piso</p> <p>MEM04* Construção de telhados</p> <p>MEM05* Paredes exteriores</p> <p>MEM06* Paredes interiores</p> <p>MEM07* Molduras de janelas</p> <p>MEM08* Vidros de janelas</p> <p>MEM09* Isolamento de telhado</p> <p>MEM10* Isolamento de parede</p> <p>MEM11* Isolamento de piso</p>

Fonte: Elaborado pela Autora (2025) adaptado de EDGE *app* (2025).

Posteriormente, com as estratégias gerais identificadas, verificaram-se nos projetos quais delas continham em cada um deles, e, portanto, elas foram selecionadas, isto pode ser verificado nos quadros de cada categoria, no Item Resultados.

Com as estratégias selecionadas, confeccionou-se um checklist (Quadro 3) que incluiu questões que não eram possíveis solucionar apenas com os projetos e documentações disponibilizadas na Etapa 3. O roteiro em questão variou de acordo com o empreendimento, visto que cada um tem suas particularidades, e serviu para conduzir o contato com as construtoras. Realizou-se o contato telefônico com as empresas a fim de coletar as informações detalhadas e pertinentes.

Quadro 3 – Exemplo de Checklist de um dos empreendimentos (Empreendimento B).

Informações Necessárias
Aba Projeto
Entregou-se chuveiro elétrico?
Foi instalado gerador? Caso sim, qual o tipo de combustível utilizado?
Categoria Energia
EEM03 Paredes Externas Refletivas
Qual a cor utilizada nas paredes externas?
Qual a marca da tinta das paredes externas? Tem informação do produto?
A tinta é acrílica semi-brilho ou fosca?
EEM08* Isolamento das paredes externas
Foi realizado revestimento de azulejo na cozinha e na área de serviço?
A altura do revestimento com azulejo foi até 1.50 ou 1.60?
Qual o modelo e marca da lajota utilizada nas paredes internas?
EEM09* Eficiência do vidro
Qual o fabricante do vidro?
EEM18* Sistema de água quente doméstico
Se foi entregue chuveiro elétrico, qual a marca e o modelo?
EEM22 Iluminação eficiente para áreas internas
Nas unidades e corredores, foram utilizadas lâmpadas LED ?
Nas unidades e corredores, foram utilizadas lâmpadas fluorescentes compactas (LFCs) ?
Nas unidades e corredores, foram utilizadas lâmpadas florescentes T5 e T8?
Se sim, qual a marca e modelo das lâmpadas utilizadas?
Caso não, qual a marca e modelo das lâmpadas realmente utilizadas?
EEM23 Iluminação eficiente para áreas externas (passeio, áreas comuns externas à edificação)
Nas áreas externas foram utilizadas lâmpadas LED ?
Nas áreas externas foram utilizadas lâmpadas fluorescentes compactas (LFCs) ?
Nas áreas externas foram utilizadas lâmpadas florescentes T5 e T8?
Se sim, qual a marca e modelo das lâmpadas utilizadas externamente?
Caso não, qual a marca e modelo das lâmpadas realmente utilizadas nas áreas externas?
EEM24 Controles de iluminação
Foi utilizado controles de iluminação na edificação, como em corredores, áreas comuns, escadas e áreas externas?
Caso sim, qual o tipo de controle, sensor de presença, temporizador, dimmers?

Outro tipo de sensor foi utilizado nessas áreas? Se sim, qual?
EEM31 Medidores inteligentes para energia
Foram entregues medidores inteligentes de energia? Se sim, qual a marca e modelo?
Foram entregues medidores analógicos (Comuns) de energia?
EEM32 Correções do fator de potência
Foi utilizado algum dispositivo de correção de energia, abaixo:
Como estabilizadores de tensão?
Transformador de isolamento?
Reguladores de tensão?
Filtros de ruído?
Soluções de corrente harmônica?
Fontes de alimentação ininterruptas?
Se sim, qual a marca e o modelo?
EEM34 Outras medidas de economia de energia
Foi instalada outra medida de economia que não seja uma das listadas acima?
Se sim, qual?
Categoria Água
WEM01* Chuveiros com eficiência hídrica
Qual o modelo de chuveiro foi instalado nas unidades? (Necessário para saber o fluxo de água)
WEM02* Torneiras com eficiência hídrica
Qual o modelo de torneiras foi instalado nos banheiros? (Necessário para saber o fluxo de água)
Foram utilizadas torneiras com arejadores?
WEM04* Sanitários com economia hídrica em todos os banheiros
Qual o modelo de sanitário utilizado? (Necessário para saber o fluxo de água)
Foram utilizados sanitários de descarga única ou descarga dupla?
WEM08* Torneiras com economia hídrica para pias de cozinha
Qual o modelo de torneira foi utilizado na cozinha? (Necessário para saber o fluxo de água)
WEM11 Máquinas de lavar com economia hídrica:
Foram entregues máquinas de lavar roupa?
WEM15 Sistema de tratamento e reciclagem de águas residuais
Foi instalado algum sistema de tratamento de esgoto?

Foi instalado algum sistema de tratamento de águas cinzas? Se sim, há o reuso dessas águas?
Foi instalado algum sistema de tratamento de águas negras? Se sim, há o reuso dessas águas?
WEM17 Medidores hídricos inteligentes
Foram entregues medidores inteligentes de água? Se sim, qual a marca e modelo?
Foram entregues medidores analógicos (Comuns) de água?
Categoria Materiais
MEM03* Acabamento do piso
No acabamento do piso, qual foi o modelo de azulejo utilizado?

Fonte: Elaborado pela Autora (2025) adaptado de EDGE (2021) e EDGE *app* (2025).

Cada estratégia no EDGE *app* demanda várias informações de entrada. Entre as estratégias houve algumas entradas que não foram encontradas nos catálogos dos materiais especificados pelos construtores. Para atender esta demanda, por fim, foi necessário utilizar dados de normas brasileiras, literatura e dados-padrão do EDGE *app* para o preenchimento dessas entradas supracitadas, isto é demonstrado no Quadro 4. Esta última fase configura a conclusão do procedimento de “levantamento final” das informações.

Quadro 4 – Medidas que continham entradas que necessitaram dados fornecidos na literatura.

Medida	Entradas	Origem dos Dados	Ordem de prioridade de aquisição dos dados
EEM02 Telhado Reflexivo	SRI ⁵³ (Índice de refletância solar da cobertura) da cobertura	Muniz-Gäal et al. (2018)	-
EEM03 Paredes externas reflexivas	SRI (Índice de refletância solar) das paredes	Adaptado dos dados de SRI inicial de Alchapar e Correa (2020)	-
EEM05* Isolamento do telhado	Condutividade térmica (W/m.K)	NBR 10456 (2022); CB3E ⁵⁴ (2022); Dados Padrão EDGE.	1º) NBR 10456 (2022); 2º) CB3E (2022); 3º) Dados Padrão EDGE.
EEM06* Isolamento da laje térrea/elevada	Condutividade térmica (W/m.K)	NBR 10456 (2022); CB3E (2022); Dados Padrão EDGE.	1º) NBR 10456 (2022); 2º) CB3E (2022); 3º) Dados Padrão EDGE.

⁵³ SRI – Sigla para *Solar Reflectance Index*.

⁵⁴ CB3E – Sigla para Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações.

Medida	Entradas	Origem dos Dados	Ordem de prioridade de aquisição dos dados
	Transmitância térmica U^{**} ($W/m^2.K$), também chamada Valor U	ProjetEEE ⁵⁵ (2024)	-
EEM09* Eficiência do vidro	Valor-U ($W/m^2.K$)	ProjetEEE (2024)	-
	Transmissão de Luz visível	NBR NM 294 (2004)	-
	Coefficiente de Ganho de Calor Solar (CGCS)	EDGE (2021)	-

Fonte: Elaborado pela Autora (2025) adaptado de EDGE *app* (2025), EDGE (2021), Muniz-Gäal et al. (2018), Alchapar e Correa (2020), NBR 10456 (2022), CB3E (2022), NBR NM 294 (2004) e ProjetEEE (2024).

**A entrada direta do valor da Transmitância térmica na medida EEM06* deve ser utilizada em último caso, quando necessário nesta medida.

Conforme se obtinham as informações, refinavam-se os dados da Aba projeto, as estratégias eram selecionadas nas categorias e introduziam-se os dados nelas e, a execução das simulações era conduzida no *software* EDGE.

É importante ressaltar que à medida que eram inseridas as informações dos dados de entrada de cada empreendimento, automaticamente o EDGE *app* gerava informações sobre o desempenho nas categorias e nos gráficos. Este comportamento Marzouk (2023, p.5) denomina de “resposta interativa” do *software* EDGE *app*.

Fato este que possibilitou analisar o desempenho da edificação, a cada entrada de componente relacionada às características das edificações e a cada inserção das estratégias adotadas nos empreendimentos nas três categorias.

O item a seguir detalha como são baseados os cálculos para as projeções de consumo nas categorias da certificação.

3.5.1. Cálculos do preditivos do *Software* EDGE

Na certificação EDGE, a categoria “Água” é calculada através do consumo hídrico da edificação, a categoria “Energia” é mensurada por meio da energia operacional demandada na edificação e, em “Materiais” tem-se o cômputo por meio de carbono incorporado nos materiais utilizados na edificação (EDGE *app*, 2024; EDGE, 2021; EDGE, 2024c). E, para determinar os consumos seguem os cálculos utilizados.

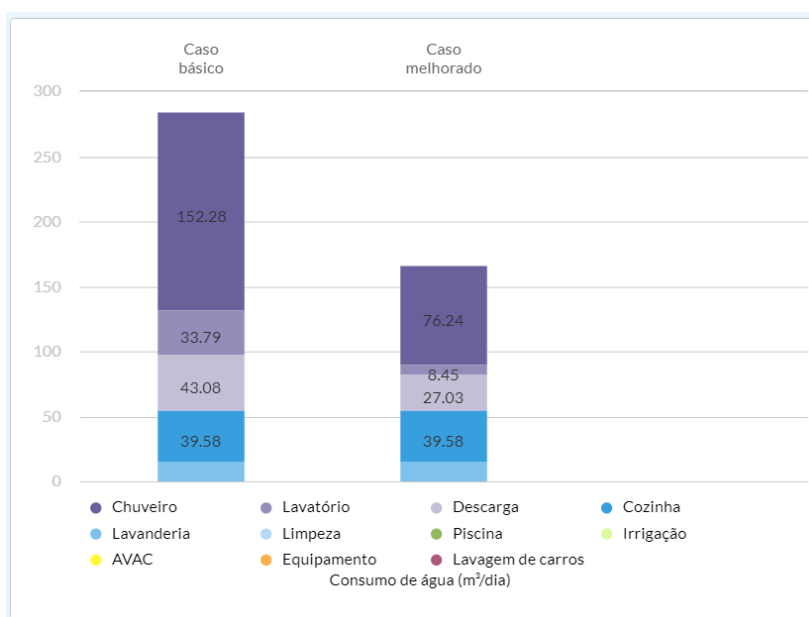
⁵⁵ ProjetEEE – Sigla para Projetando Edificações Energeticamente Eficientes.

3.5.1.1. Consumo de água

Para calcular a demanda de água, por exemplo, tem-se um fator importante que é a taxa de ocupação. De acordo com EDGE (2021), o *software* fornece dados-padrão para esta taxa (como demonstrado no Quadro 1), no entanto o usuário pode inserir seus valores, caso os desconheça, o manual recomenda o usuário inserir o nº de quartos na unidade +1.

A taxa de ocupação (pessoas/unidade), assim como as taxas de fluxo de água (L/min) dos chuveiros, torneiras e bidês, os volumes de descargas (L/descarga), as vazões das máquinas de lavar (L/ciclo) e as taxas de uso, comporão as cargas de uso de água, estas juntamente com o nº de instalações hidráulicas, permitem a estimativa da demanda anual de água (EDGE, 2021; EDGE *app*, 2025). O gráfico da categoria Água é expresso em m³/dia (Figura 5).

Figura 5 – Captura de tela mostrando o gráfico “Consumo de água”.



Fonte: Modificado de EDGE *app* (2024).

No presente trabalho, as entradas que foram inseridas nas estratégias de água, quanto à taxa de fluxo (L/min) de chuveiros e torneiras instalados nos empreendimentos, foram consultadas nos catálogos destes componentes hidráulicos e inseridos para a pressão de 30 m.c.a (metros de coluna d'água).

É importante frisar que o EDGE estima a quantidade de água: em função da água doce demandada, já as águas recicladas e águas pluviais armazenadas entram no “Caso-Aprimorado”

como economia de água; com metodologia semelhante ao modelo utilizado pelo Reino Unido, na “Calculadora de eficiência hídrica para novas habitações⁵⁶” (EDGE, 2021).

3.5.1.2. Consumo energético

No cálculo da demanda energética, notam-se diversos elementos que o compõe, eles são:

3.5.1.2.1. Demanda geral de energia

O cálculo da demanda de energia integra os combustíveis que abastecem a edificação (Velasquez, Picó e Hosseini, 2022). Portanto, na Aba Projeto, na seção “Uso de combustível”, o usuário deve selecionar os tipos de combustíveis usados no projeto, assinalando a fonte energética relacionada à cocção, aquecimento de água e de ambiente (EDGE, 2021; Marzouk, 2023).

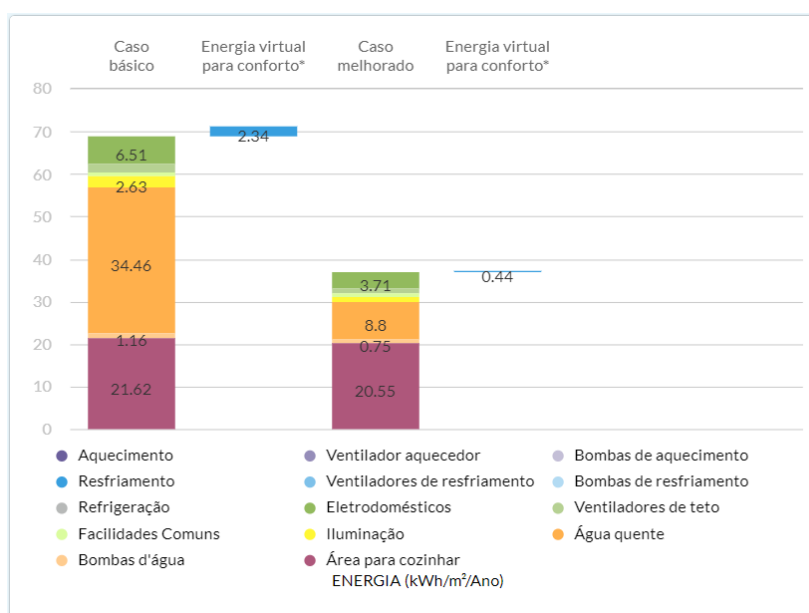
A partir das entradas supracitadas, segundo EDGE (2019) com base nos valores de “energia primária”, a plataforma converte a energia das diversas fontes em “energia entregue” para a edificação, a fim de viabilizar uma métrica comum. Vale frisar que de acordo com EDGE (2019; 2024a), optou-se por utilizar os dados de saída na forma de “energia entregue”, pois considerou-se mais adequado para a associação com os gastos gerados em termos de energia.

Segundo EDGE (2024a), a energia entregue não inclui a energia renovável, o *software* converte a primeira em quilowatts-hora e apresenta no gráfico “Energia” (Figura 6) os usos finais na edificação, na unidade de kWh/m²/ano. Quando há ocorrência de energia renovável gerada in loco⁵⁷ nas edificações, ela entra no “Caso-Aprimorado” como economia de energia (EDGE, 2019).

⁵⁶ *Water Efficiency Calculator for new dwellings.*

⁵⁷ *No local*

Figura 6 – Captura de tela mostrando o gráfico “Energia”.



Fonte: Modificado de EDGE *app* (2024).

3.5.1.2.2. Energia utilizada em sistemas de condicionamento

No cálculo direcionado para a demanda anual de energia para o aquecimento, a ventilação e a refrigeração da edificação, o *software* EDGE utiliza o método quase-estacionário e o período mensal de análise (EDGE, 2021). O método foi baseado em normas europeias e na ISO 13790⁵⁸ (EDGE, 2021), a norma atual é a ISO 52016-1 (2017).

A escolha do método quase-estacionário está relacionada a maior facilidade de execução e rapidez, além de estar vigente em códigos de eficiência energética em diversos países (EDGE, 2021). Este método demanda dados da envoltória e da localização do projeto (Marcelo, 2017), os quais são fornecidas pelo usuário ao preencher as entradas no EDGE *app*, tanto na Aba Projeto quanto ao inserir as informações nas estratégias selecionadas.

3.5.1.2.3. Energia Virtual

A coluna “energia virtual para conforto” torna-se aparente no gráfico “Energia” quando a edificação não apresenta um sistema de climatização, posteriormente, necessitando de instalação de sistemas mecânicos para promover o conforto, como Sistema AVAC ou ventiladores, portanto este é um consumo de energia a mais, previsto em um cenário futuro (EDGE, 2021).

⁵⁸ ISO 13790:2008 - Desempenho energético dos edifícios - Cálculo do consumo de energia para aquecimento e arrefecimento de espaços.

A adoção do parâmetro “Energia Virtual” baseia-se na Norma ISO 52000-1 (2017), seu cômputo não entra nos custos do empreendimento, mas influencia para atingir o padrão mínimo EDGE em termos de energia, dessa forma, devem haver estratégias para que a energia virtual seja evitada (EDGE, 2024a).

Quanto a energia virtual, o *software* subtrai o consumo de energia do “Caso-Base” do consumo de energia do “Caso-Aprimorado”, em ambos os casos incluindo a coluna “Energia virtual”. Dessa diferença, o EDGE verifica o percentual que representa de melhoria ou piora em relação ao “Caso-Base” e gera o desempenho na categoria Energia.

Portanto, a energia virtual, entra no cálculo do percentual de desempenho energético da edificação, mas é inserida em coluna a parte no gráfico “Energia”, a fim de melhorar a compreensão (EDGE, 2024a).

3.5.1.2.4. Demanda de energia para água quente

A energia direcionada para a promoção de água quente na edificação é calculada com base na norma EN 15316-3⁵⁹ e, depende de fatores como demanda de água quente na tipologia construtiva e temperatura da água fria captada (EDGE, 2021).

3.5.1.2.5. Demanda de energia de iluminação

Para mensurar a demanda energética anual de iluminação na edificação, o aplicativo EDGE se baseia na EN 15193⁶⁰, e utiliza o “método rápido” da referida norma, calculando o consumo por meio da carga requerida anualmente - de acordo com a edificação - e a potência nominal das lâmpadas (EDGE, 2021).

3.5.1.3. Emissões de CO₂

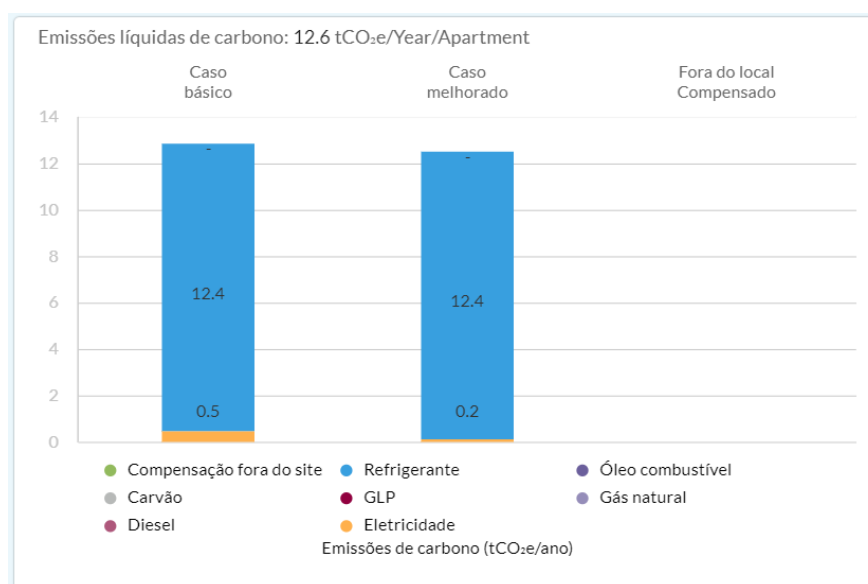
As emissões de CO₂, no software EDGE *app*, são também denominadas de emissões líquidas de carbono e, são disponibilizadas sob a forma visual no gráfico de “Emissões de Carbono” da edificação modelada, na unidade de tCO₂e/ano (tonelada de dióxido de carbono equivalente por unidade anual). A Figura 7 apresenta o gráfico de “Emissões de Carbono”.

É importante destacar que como descrito por Marzouk (2023) este gráfico contabiliza as emissões relacionadas ao agente refrigerante da edificação e as emissões devido ao uso de combustíveis na edificação.

⁵⁹ EN 15316-3: 2017 - Desempenho energético de edifícios - Método para cálculo de requisitos de energia do sistema e eficiências do sistema - Parte 3: Sistemas de distribuição de espaço.

⁶⁰ EN 15193 - Desempenho energético de edifícios – Requisitos energéticos para iluminação.

Figura 7 – Captura de tela mostrando o gráfico de “Emissões de carbono”.



Fonte: Modificado de EDGE *app* (2024).

Para as emissões do agente refrigerante, é utilizada a métrica denominada Potencial de Aquecimento Global (GWP⁶¹) (EDGE, 2021; Marzouk, 2023). Taylor et al. (2023) dimensionaram o impacto ambiental associado as emissões de materiais de construção por meio do GWP.

Neste sentido, EDGE (2024a) destaca que existem agentes refrigerantes tradicionais, utilizados em sistemas de ar condicionado e sistemas de refrigeração (freezers), que tem alto impacto para o aquecimento global, ou seja, alto GWP, mas existem agentes refrigerantes de menor impacto, como a amônia.

Para o cálculo das emissões de gás refrigerante, no entanto, segundo Marzouk (2023) no EDGE *app* esta parcela é prevista, com base no gás utilizado para a climatização da edificação, e convertido na forma de massa equivalente de CO₂, dando origem aos indicadores Potencial de Aquecimento Global (GWP) do agente refrigerante do “Caso-Base” e do Caso-Melhorado.

Quanto ao cálculo das emissões dos combustíveis, o *software* EDGE prevê o consumo energético e o categoriza em usos finais de energia, a partir deles, o aplicativo apresenta e utiliza fatores de emissões de CO₂ para associar à cada fonte energética que abastece a construção, ou seja, a cada kWh de combustível fornecido sabe-se a massa de CO₂ liberado para o meio (Marzouk, 2023). Este cálculo gerará o cômputo total de emissões relacionadas aos combustíveis, que estará presente no gráfico em função de tonelada de dióxido de carbono

⁶¹ GWP - Sigla para Global Warming Potential.

equivalente por unidade anual ($\text{tCO}_2\text{e/ano}$), e presente no indicador “Emissões operacionais finais de CO_2 ”, na unidade mensal ($\text{tCO}_2\text{/mês/apartamento}$).

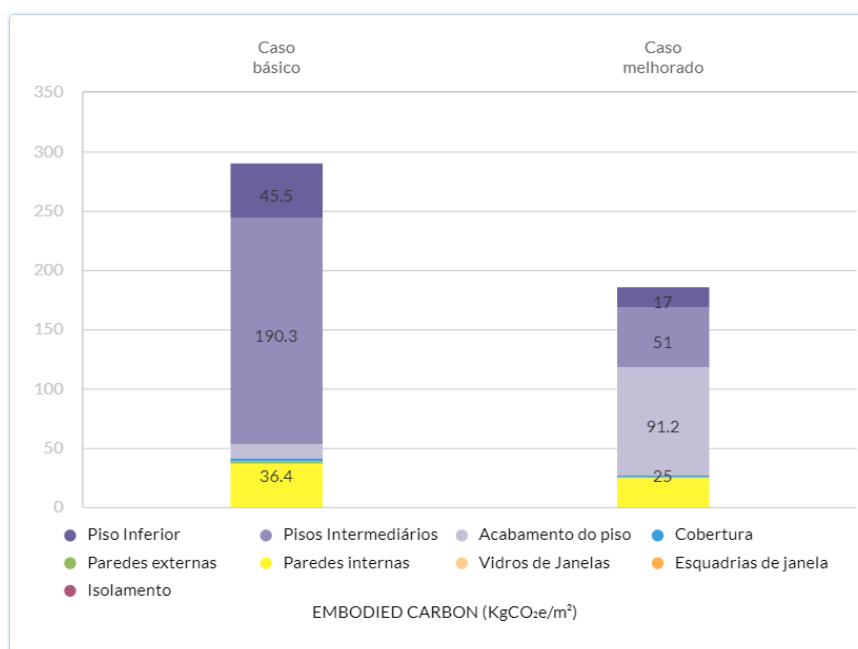
Nesse trabalho, foram utilizados os fatores de emissão de CO_2 gerados pelo EDGE *app* para os combustíveis selecionados, na localização desse estudo. Primeiramente, foram identificadas as fontes energéticas de cada empreendimento, posteriormente elas foram selecionadas na Seção “Uso de Combustíveis” do EDGE *app* e, então utilizaram-se os fatores-padrão de emissão do EDGE *app*. Nos empreendimentos, ao todo, foram verificadas duas fontes de combustível, as quais foram Gás de cozinha (GLP) e Eletricidade, com seus respectivos fatores de emissão, $0,24 \text{ kg de CO}_2/\text{kWh}$ e $0,15 \text{ kg de CO}_2/\text{kWh}$.

Os fatores de emissão de CO_2 utilizados pelo EDGE *app* são dados oriundos da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), estes são anualmente atualizados (EDGE, 2025).

3.5.1.4. Energia incorporada em Materiais

Vale destacar que atualmente o EDGE *app*, por meio da atualização n° 35, associa a unidade $\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$ para se referir ao carbono incorporado nos materiais, por unidade construída (EDGE, 2023). Sendo o gráfico da categoria Materiais expresso nesta unidade (Figura 8).

Figura 8 – Captura de tela mostrando o gráfico “Carbono Incorporado”.



Fonte: Modificado de EDGE *app* (2024).

O método utilizado pelo EDGE para o cômputo de carbono incorporado é baseado na EN 15804⁶², o qual por meio da Avaliação do ciclo de vida contabiliza, nos materiais, as emissões de gases de efeito estufa geradas desde a fase como matéria-prima até o material gerado da fábrica (EDGE, 2024c).

A fim de fornecer dados regionais, o *software* passa por atualizações para o refinamento dos dados e considera a localização de acordo com regiões no contexto global (EDGE, 2024c), no caso deste trabalho está dentro da RLA (Região América Latina e Caribe).

3.6. Etapa 6 – Análise dos resultados das simulações das edificações

Após a finalização da entrada de dados, por meio dos cálculos preditivos da plataforma EDGE, são gerados dados de saída referentes às categorias Energia, Água e Materiais. Na parte superior das abas dessas categorias é possível visualizar o percentual atingido em cada uma (Figura 9) delas, além de que serão concluídos os gráficos delas (citados no item 3.5.1).

Figura 9 – Captura de tela mostrando as principais abas e as barras de resultados.



Fonte: Modificado de EDGE app (2023).

Outra questão, é que o *software* EDGE disponibiliza e utiliza indicadores-chave de desempenho (KPIs) e, o acompanhamento visual dos resultados dos KPIs é feito por meio do resumo deles que aparece na “Barras de Resultados” (Figura 9), na interface do aplicativo (EDGE, 2024e).

Quanto aos KPIs, para a tipologia apartamentos, o EDGE apresentou 23 indicadores-chave visíveis na Barra de Resultados, os quais serão descritos no Quadro 5. Neste trabalho adaptou-se o estudo de Marzouk (2023), e, portanto, os KPIs foram classificados de acordo com a sua abordagem principal. Segundo EDGE (2024e), os KPIs apresentam o desempenho

⁶² EN 15804:2012+A2:2019 - Sustentabilidade das obras de construção - Declarações ambientais de produtos

mensurado com base nas previsões sobre a utilização por parte dos ocupantes da edificação simulada.

Quadro 5 – Resumo dos KPIs presentes na plataforma EDGE.

Abordagem	Nome do Indicador	Unidade do resultado
Energética	Uso final de Energia	kWh/mês/apartamento
	Economia de Energia	MWh/Ano
	EPI (Índice de Desempenho Energético) do “Caso-Base”	kWh/m ² /Ano
	EPI do Caso-Aprimorado	kWh/m ² /Ano
Hídrica	Uso final de Água	m ³ /mês/apartamento
	Economia de Água	m ³ /Ano
Materiais	Carbono incorporado Final	kgCO ₂ e/m ²
	Economia de carbono incorporado	tCO ₂ e
Emissões	Emissões operacionais finais de CO ₂	tCO ₂ /mês/apartamento
	Economia Operacional de CO ₂	tCO ₂ /Ano
	GWP ⁶³ (Potencial de Aquecimento Global) do agente refrigerante do “Caso-Base”	tCO ₂ e/Ano/apartamento
	GWP do agente refrigerante do Caso-Aprimorado	tCO ₂ e/Ano/apartamento
Financeira	Custo final de serviços públicos em moeda local	BRL ⁶⁴ /mês/apartamento ou Reais/mês/apartamento
	Custo final de serviços públicos em dólar americano	USD ⁶⁵ /mês/apartamento ou Dólar americano/mês/apartamento
	Economia de custo de serviços públicos em moeda local	Milhões de Reais/Ano/apartamento
	Economia de custo de serviços públicos em dólar americano	Dólar americano/Ano/apartamento
	Custo total da construção, em moeda local	Milhões de Reais/apartamento
	Custo total da construção, em Dólares americanos	Milhões de Dólares americanos/apartamento
	Custo incremental em moeda local	Milhões de Reais/apartamento
	Custo incremental em dólares americanos	Dólar americano/apartamento
	Aumento no custo	Porcentagem (%)
	Taxa de Retorno	Anos
Social	Pessoas impactadas	Nº/Ano

⁶³ GWP – Sigla para *Global Warming Potential*.

⁶⁴ BRL – Sigla para Real Brasileiro.

⁶⁵ USD – Sigla para *United States Dollar*.

Fonte: Elaborado pela Autora (2025) adaptado de EDGE (2023); Marzouk (2023); EDGE (2024e); EDGE *app* (2025).

Na interface do EDGE *app*, após concluída a simulação, foi realizado para os três empreendimentos o salvamento dos relatórios⁶⁶ em formato pdf. (APÊNDICE A, APÊNDICE B e APÊNDICE C). Por meio do relatório, pôde-se visualizar o panorama em que se encontra cada empreendimento simulado, referente a um total de 20 (vinte) KPIs dentre os supracitados, além dos gráficos gerados nas categorias da certificação EDGE.

Vale ressaltar que os resultados obtidos para uma mesma edificação em uma data, pode depois de um período haver modificação, devido a isso deve-se considerar os resultados alcançados na solicitação da certificação, este fato acontece, pois, segundo EDGE (2021) constantemente a plataforma se atualiza, o que promove o refinamento dos dados.

Nesse trabalho, optou-se por direcionar o estudo aos KPIS ligados diretamente ao consumo de recursos e emissões de poluentes, então selecionaram-se os seguintes KPIS para representar as abordagens Energética, Hídrica, de Materiais e de Emissões de CO₂:

- EPI (Índice de Desempenho Energético) do “Caso-Base” (kWh/m²/Ano) ;
- EPI do Caso-Aprimorado (kWh/m²/Ano);
- Uso final de Água (m³/mês/apartamento);
- Carbono incorporado final (kgCO₂e/m²);
- Emissões operacionais finais de CO₂ (tCO₂/mês/apartamento).

Para avaliar os empreendimentos “Minha Casa, Minha Vida” e atingir os objetivos geral e específicos traçados neste trabalho:

- Sabendo-se do comportamento automático do *software* EDGE (citado no item 3.5), traçou-se um procedimento que pudesse atender a essa peculiaridade. O procedimento foi denominado “Análise conjunta” e prosseguiu-se da seguinte forma, conforme ocorria a entrada de dados para a simulação de cada empreendimento, simultaneamente verificavam-se as mudanças nos percentuais gerados em cada categoria (parte superior das Abas Energia, Água e Materiais) e nos quatro (4) gráficos delas, então realizavam-se os cálculos de impactos positivos ou negativos das escolhas projetuais (Aba Projeto) no desempenho de cada categoria (Quadro 6) e, da porcentagem de contribuição de cada estratégia selecionada para o desempenho geral, de cada categoria em cada empreendimento (Quadro 7, Quadro 8 e Quadro 9);

⁶⁶ Nos relatórios os nomes dos empreendimentos foram omitidos.

Quadro 6 – Quadro com informações relacionadas à Aba Projeto, a serem preenchidos no decorrer das simulações.

Aba Projeto			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Detalhes do projeto			
Seção “Dimensões do edifício”			
Seção “Sistema AVAC” (Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado)			
Seção “Uso de Combustível”			
Seção “Dados climáticos”			

Fonte: Autora (2025).

Quadro 7 – Quadro para o acompanhamento do desempenho dos empreendimentos, com as estratégias construtivas da metodologia EDGE da categoria Energia.

Categoria Energia			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Desempenho			
Nº de estratégias selecionadas que constam no projeto			
Nº de estratégias com efeito positivo			
Medidas de eficiência energética que geraram efeito positivo (em percentuais da categoria)			
Medida			
Valor do “Caso-Base”			
Valor inserido			
Resultado			

Fonte: Autora (2025).

Quadro 8 – Quadro para o acompanhamento do desempenho dos empreendimentos, com as estratégias construtivas da metodologia EDGE da categoria Água.

Categoria Água			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Desempenho			
Nº de estratégias selecionadas			
Nº de estratégias com efeito negativo (em percentuais da categoria água)			

Categoria Água			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Medidas de eficiência hídrica que geraram efeito negativo em materiais			
Medida			
Valor do “Caso-Base”			
Valor inserido			
Resultado			

Fonte: Autora (2025).

Quadro 9 – Quadro para o acompanhamento do desempenho dos empreendimentos, com as estratégias construtivas da metodologia EDGE da categoria Materiais.

Categoria Materiais			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Desempenho			
Nº de estratégias selecionadas			
Nº de estratégias com efeito positivo (em percentuais da categoria)			
Medidas de eficiência em materiais que geraram efeito positivo (em percentuais da categoria)			
Medida			
Material do “Caso-Base”			
Material inserido			
Resultado			

Fonte: Autora (2025).

- Em cada categoria da certificação EDGE, os empreendimentos A, B e C tiveram seus resultados comparados, quando aplicável, com as diretrizes da norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005; ABNT, 2024) e da Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b), e com a literatura atual. Vale ressaltar a não ocorrência de recomendações construtivas na NBR 15220-3 (ABNT, 2024),

versão atual, portanto justifica-se o emprego da versão anterior NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a qual baseou também a divisão climática utilizada na Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b);

- Realizou-se a comparação dos resultados dos empreendimentos A, B e C entre eles;
- Analisou-se o comportamento dos gráficos gerados ao final da simulação, para cada categoria e em cada empreendimento;
- Ao final da simulação dos empreendimentos, analisaram-se os percentuais alcançados por eles em cada categoria da certificação EDGE, sendo possível verificar em quais delas os empreendimentos A, B e C, se enquadram ao desempenho mínimo de 20%;
- Por fim, através da “Barra de resultados” e dos relatórios gerados das simulações, analisou-se os resultados dos KPIs previamente selecionados. Vale frisar que este trabalho fornecerá os resultados na forma de indicadores de desempenho e percentuais nas categorias “Energia”, “Água” e “Materiais”;

Com isso, os KPIs pré-selecionados, os percentuais e os impactos das estratégias selecionadas, foram resumidos através de quadros explicativos (*Dashboards*⁶⁷), em cada categoria.

⁶⁷ Painéis visuais (tradução nossa).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O capítulo 4 pretende explorar os resultados obtidos neste estudo, além de realizar a interação deles com a literatura atual e as normativas relacionadas. Por fim, o capítulo apresenta implicações teóricas, práticas e políticas desse estudo.

4.1. Descrição dos Objetos de Estudo

O item 4.1 pretende descrever as características dos objetos de estudo, como a localização, a configuração espacial e os componentes construtivos.

A figura 10 destaca a Cidade de Belém, na qual estão presentes os empreendimentos analisados. Os empreendimentos A, B e C, localizam-se, respectivamente, nos Bairros Parque Guajará, Coqueiro e Tenoné, da capital paraense.

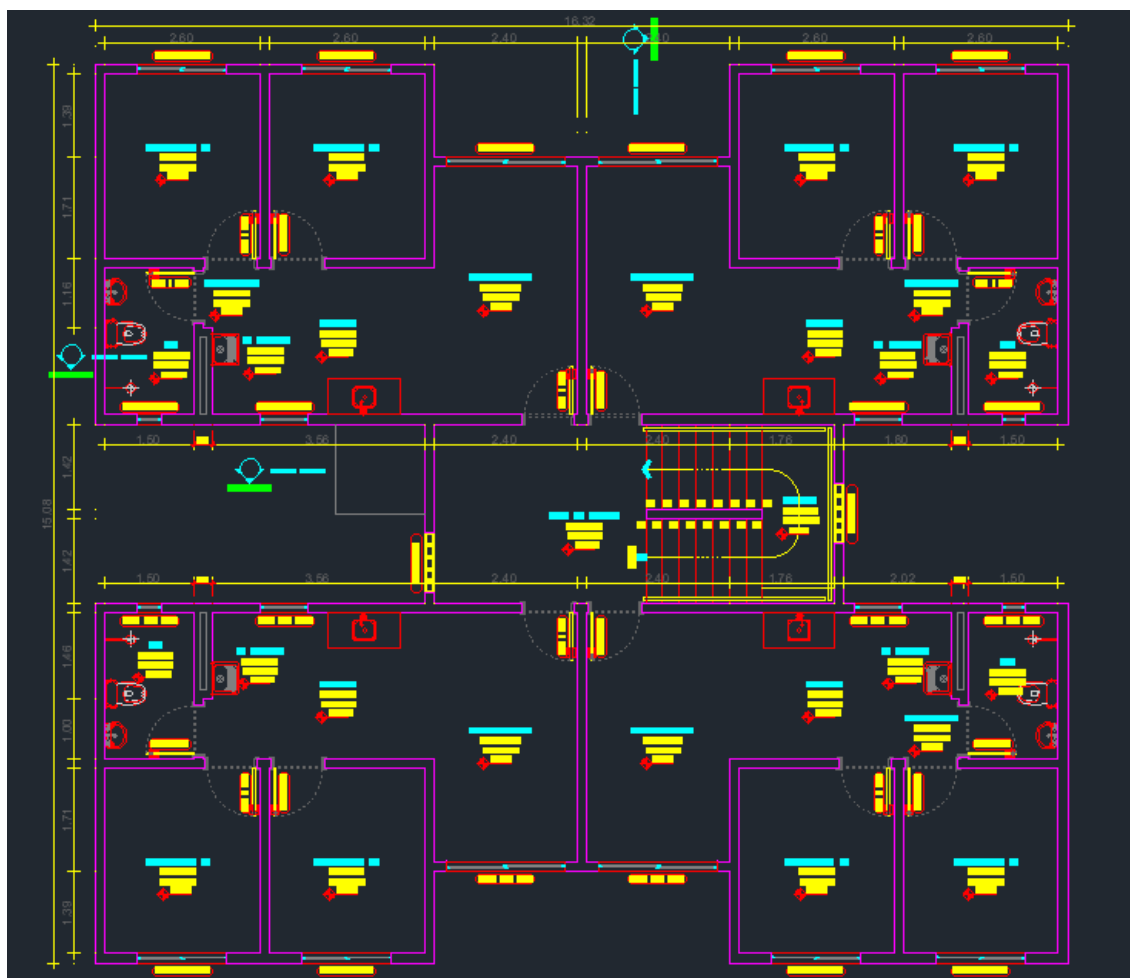
Figura 10 – Imagem da Cidade de Belém-Pará (contornada pela linha vermelha quadriculada), com indicação da localização dos objetos de estudo (caixas de texto com os nomes na cor preta).



Fonte: Modificado de Google Maps (2025).

Os empreendimentos em estudo (A, B e C) são referentes a conjuntos habitacionais, compostos de moradias verticais multifamiliares. O empreendimento A é composto por 704 (setecentos e quatro) apartamentos divididos em 44 (quarenta e quatro) blocos. Cada bloco está dividido em 4 (quatro) pavimentos e apresenta 16 (dezesesseis) unidades de apartamentos tipo, sendo 4 (quatro) unidades por andar (Figura 11).

Figura 11 – Imagem da Planta Baixa do pavimento tipo dos blocos do Empreendimento A.



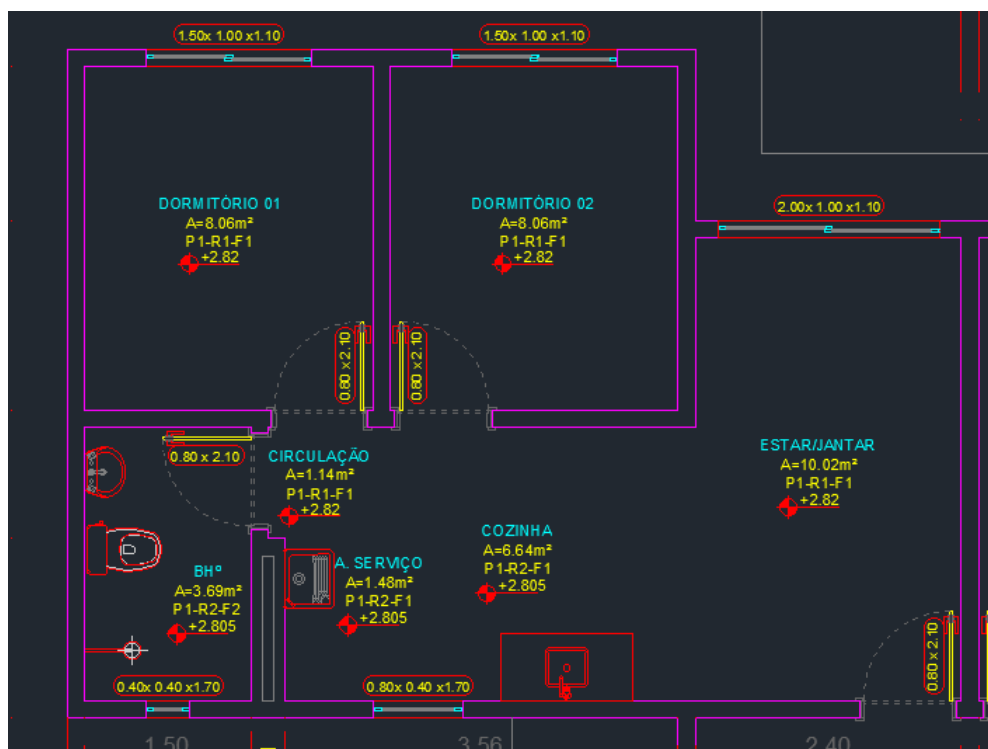
Fonte: Autora (2025).

Nos blocos do Empreendimento A, cada unidade de apartamento (Figura 12) é composta por 2 dormitórios, 1 sala de estar/jantar, 1 cozinha, 1 área de serviço, 1 área de circulação, 1 banheiro social, totalizando uma área útil⁶⁸ de 39,09 m², e apresenta altura de piso ao teto⁶⁹ de 2,60 m.

⁶⁸ Área útil – exclui-se as paredes.

⁶⁹ Altura de piso ao teto – também denominado “pé direito”.

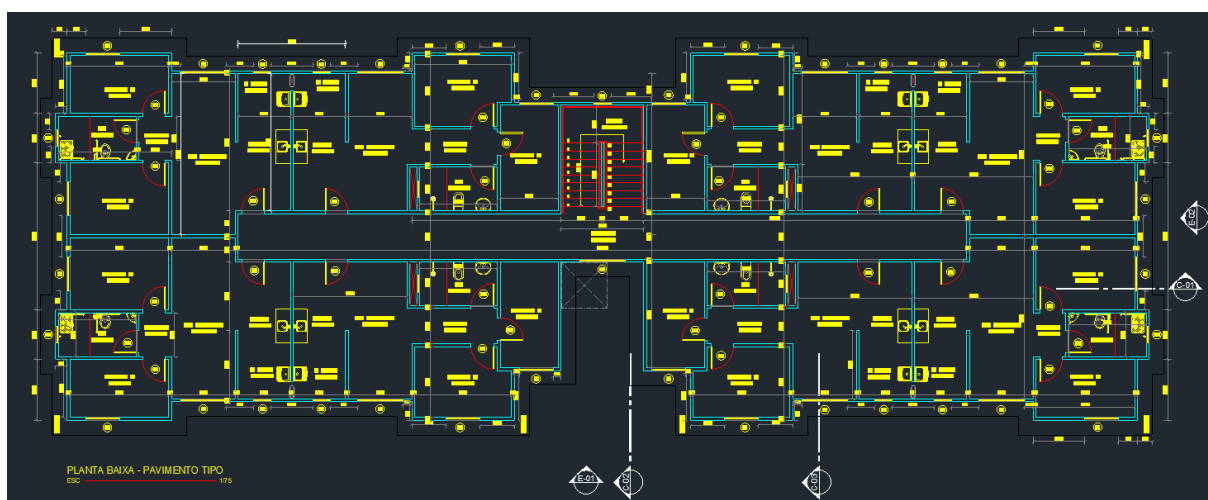
Figura 12 – Detalhe da Planta baixa da unidade tipo do empreendimento A.



Fonte: Autora (2025).

O empreendimento B, apresenta o total de 352 (trezentos e cinquenta e dois) unidades habitacionais divididas em 11 (onze) blocos. Cada bloco é composto de 4 (quatro) pavimentos e apresenta 32 unidades de apartamentos no total, sendo 8 apartamentos tipo por andar (Figura 13).

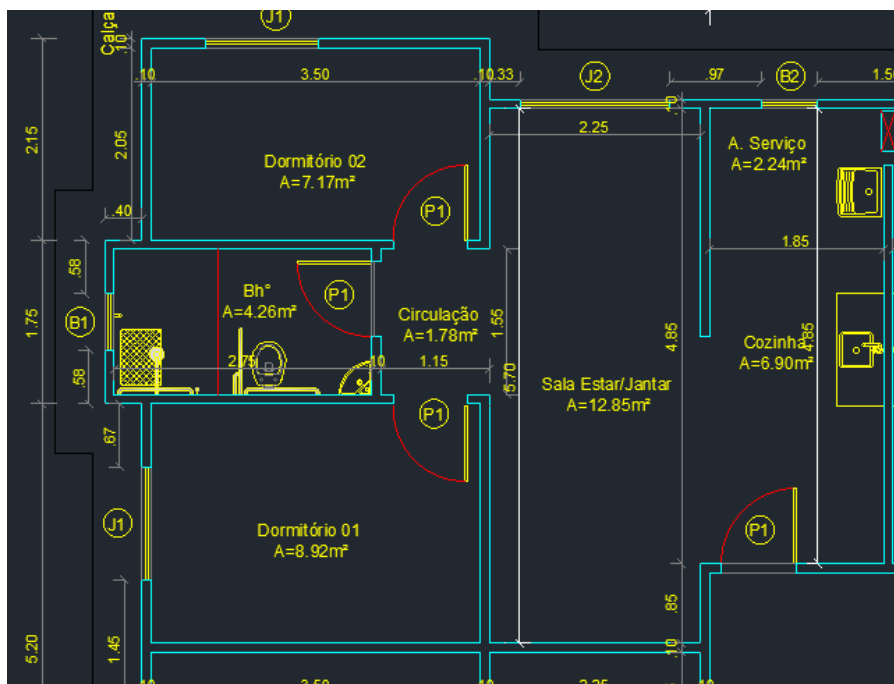
Figura 13 – Imagem da Planta Baixa do pavimento tipo dos blocos do Empreendimento B.



Fonte: Autora (2025).

No Empreendimento B, cada unidade habitacional (Figura 14) é composta por 2 dormitórios, 1 sala de estar/jantar, 1 cozinha, 1 área de serviço, 1 área de circulação, 1 banheiro social, totalizando uma área útil de 44,12 m², e apresentando altura de piso ao teto de 2,90 m.

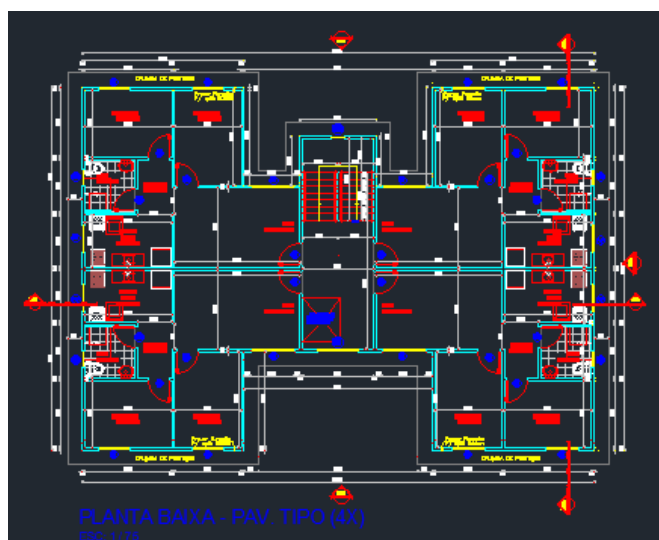
Figura 14 – Detalhe da Planta baixa da unidade tipo do empreendimento B.



Fonte: Autora (2025).

O empreendimento C é composto por 304 (trezentos e quatro) apartamentos divididos em 19 (dezenove) blocos. Cada bloco está dividido em 4 (quatro) pavimentos e apresenta 16 (dezesseis) unidades de apartamentos tipo, sendo 4 (quatro) unidades por andar (Figura 15).

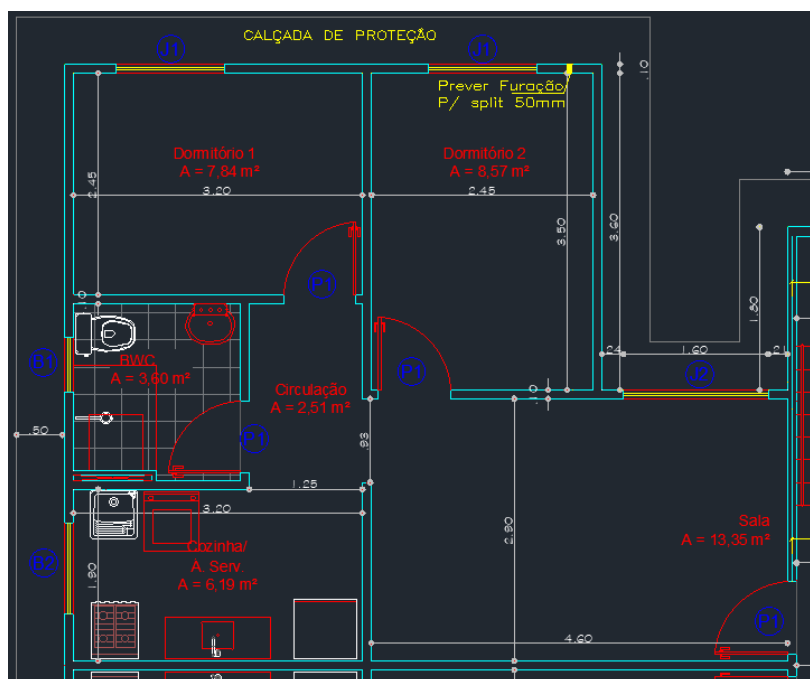
Figura 15 – Imagem da Planta Baixa do pavimento tipo dos blocos do Empreendimento C.



Fonte: Autora (2025).

Nos blocos do Empreendimento C, cada unidade de apartamento (Figura 16) é composta por 2 dormitórios, 1 sala de estar, 1 cozinha conjugada com a área de serviço, 1 área de circulação, 1 banheiro social, totalizando uma área útil⁷⁰ de 42,06 m², e apresenta altura de piso ao teto⁷¹ de 2,70 m.

Figura 16 – Detalhe da Planta baixa da unidade tipo do empreendimento C.



Fonte: Autora (2025).

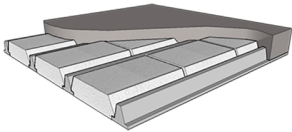
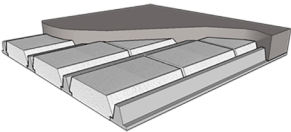
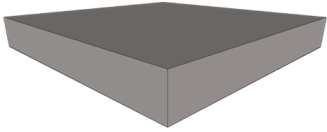
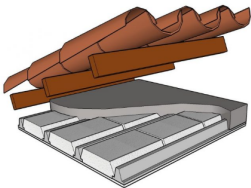
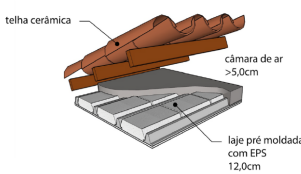
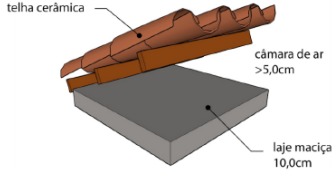
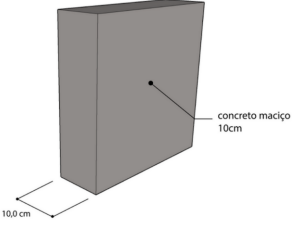
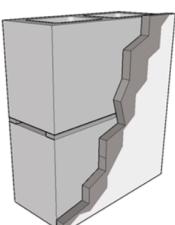
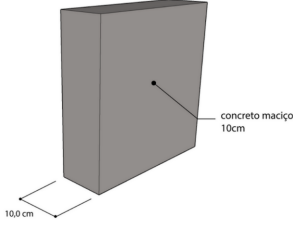
Quanto aos componentes construtivos dos empreendimentos simulados, o Quadro 10 descreve eles para os empreendimentos A, B e C, originados de informações obtidas nas etapas 3 e 5. Outros detalhes dos materiais utilizados encontram-se no Quadro 14, da categoria “Materiais”.

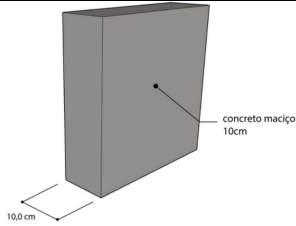
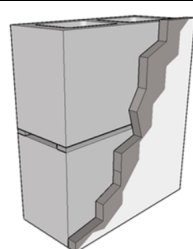
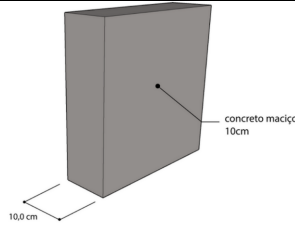
Quadro 10 – Sistemas construtivos dos empreendimentos simulados nesse estudo.

Nível do Sistema	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Estrutura	Concreto armado in situ	Alvenaria Estrutural	Concreto armado in situ
Laje de piso térreo/intermediário			
Tipo de laje e espessura da composição	Laje treliçada com enchimento de poliestireno (15 .cm)	Laje treliçada com enchimento de poliestireno (12 .cm)	Laje maciça, de concreto armado (10 .cm)

⁷⁰ Área útil – exclui-se as paredes.

⁷¹ Altura de piso ao teto – também denominado “pé direito”.

Nível do Sistema	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Imagem ilustrativa (ProjetEEE, 2025)			
Telhado			
Composição	<p>Cobertura de Telhas (1 .cm)</p> <p>Câmara de ar com fluxo descendente (8 .cm)</p> <p>Laje treliçada com enchimento de poliestireno (15 .cm).</p>	<p>Cobertura de Telhas (1 .cm)</p> <p>Câmara de ar com fluxo descendente (8.cm)</p> <p>Laje treliçada com enchimento de poliestireno (12 .cm)</p>	<p>Cobertura de Telhas (1 .cm)</p> <p>Câmara de ar com fluxo descendente (8.cm)</p> <p>Laje maciça, de concreto armado (10 .cm)</p>
Imagem ilustrativa	 <p>Fonte: ProjetEEE (2025).</p>	 <p>Fonte: INMETRO (2022c)</p>	 <p>Fonte: INMETRO (2022c)</p>
Paredes Externas			
Tipo	Parede em concreto armado (10 .cm)	Parede de bloco de concreto de dimensões 14 x 19 x 39 .cm, espessura 14 .cm	Parede em concreto armado (10 .cm)
Imagem ilustrativa	 <p>Fonte: INMETRO (2022c).</p>	 <p>Fonte: ProjetEEE (2025).</p>	 <p>Fonte: INMETRO (2022c).</p>
Acabamento externo das paredes externas			
Tipo de Material e espessura	Sem acabamento	Chapisco (0,5 .cm) e Reboco (1,5 .cm)	Sem acabamento

Nível do Sistema	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Paredes internas			
Tipo	Parede em concreto armado (10 .cm)	Parede de bloco de concreto nas dimensões 14 x 19 x 39 .cm, espessura 14 .cm	Parede em concreto armado (10 .cm)
Imagem ilustrativa	 <p>concreto maciço 10cm</p> <p>10,0 cm</p> <p>Fonte: INMETRO (2022c).</p>	 <p>Fonte: ProjetEEE (2025).</p>	 <p>concreto maciço 10cm</p> <p>10,0 cm</p> <p>Fonte: INMETRO (2022c).</p>
Acabamento interno das paredes externas e das paredes internas			
Tipo	<p>Tipo 1: Argamassa de cimento (0,5 .cm) e azulejo (0,7 .cm)</p> <p>Tipo 2: Gesso (0,2 .cm)</p>	<p>Tipo 1: Argamassa (0,5 .cm) e azulejo (0,7 .cm)</p> <p>Tipo 2: Argamassa (0,5 .cm) e azulejo (0,65 .cm)</p> <p>Tipo 3: Sem acabamento</p>	<p>Tipo 1: Argamassa (0,5 .cm) e azulejo (0,65 .cm)</p> <p>Tipo 2: Gesso (0,2 .cm)</p>
Revestimento			
Tipo de Material e espessura	Azulejo (7,0 mm)	Azulejo (6,8 mm)	Azulejo (6,4 mm)

Fonte: Autora (2025).

4.2.Resultados das simulações dos empreendimentos

Os empreendimentos foram simulados conforme descrito no capítulo Método de pesquisa (Capítulo 3) gerando resultados que serão analisados neste item.



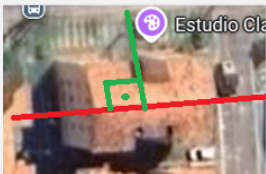
4.2.1. Aba Projeto

No decorrer do preenchimento da Aba projeto, para cada empreendimento, já era possível notar alterações no desempenho. No entanto, este comportamento foi verificado apenas

na categoria Energia, não tendo efeito nas outras. Na Aba Projeto, notou-se que ao preencher algumas seções com as características da edificação, apresentavam-se modificações no desempenho energético e/ou nos gráficos da Categoria Energia. As seções foram: Dimensões do edifício; sistema AVAC (Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado); e uso de Combustível.

O Quadro 11 apresenta-se preenchido com as informações adicionadas na Aba Projeto sobre dados da edificação, dos sistemas prediais e do contexto climático, além de resultados obtidos ainda nesta fase.


Quadro 11 – Destaque de informações dos empreendimentos, entradas na Aba Projeto e resultados identificados.

Aba Projeto			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Detalhes do projeto			
Área útil total do projeto (m ²)	32.665,60 m ²	19.008,00 m ²	15.747,20 m ²
Área por unidade (Metodologia EDGE)	46,4 m ²	54,0 m ²	51,8 m ²
Nº total de blocos	44	11	19
Nº total de apartamentos	704	352	304
Nº de apartamentos por bloco	16 unidades	32 unidades	16 unidades
Área do telhado por bloco	209,22 m ²	450,62 m ²	213,37 m ²
Área de piso bruta do pavimento tipo	202,92 m ²	439,925 m ²	204,56 m ²
Área construída por bloco (Área por unidade x Nº de apartamentos por bloco)	742,40 m ²	1.728,00 m ²	828,80 m ²
Altura de piso a piso (Metodologia EDGE)	2,75 m	3,02 m	2,78 m
Área com iluminação externa	8.431,12 m ²	5.142,02 m ²	5.010,35 m ²
Área de estacionamento externo	4.061,25 m ²	1.512,00 m ²	1.431,90 m ²
Posicionamento do bloco (Direção que faz 90º graus ao eixo longitudinal do bloco)	Noroeste – Sudeste 	Nordeste – Sudoeste 	Norte – Sul 
Azimute	315 ° (Noroeste)	45 ° (Nordeste)	0 ° (Norte)
Acesso por	Sudoeste	Sudoeste	Norte
Fachada maior voltada nas direções (considerando os recessos)	Noroeste – Sudeste	Nordeste – Sudoeste	Leste – Oeste

Aba Projeto			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Seção “Dimensões do edifício”			
Dimensão da maior fachada	25,60 m	39,47 m	22,30 m
Dimensões do edifício (Resultado)	Gerou melhoria de 0,35 % na Energia Energia – Gráfico de Energia ↓ Menos energia para resfriamento ↓ Menos energia para ventiladores de resfriamento	Gerou melhoria de 0,42 % na Energia Energia – Gráfico de Energia ↓ Menos energia para resfriamento ↓ Menos energia para ventiladores de resfriamento	Gerou queda de – 0,43 % na Energia Energia – Gráfico de Energia ↑ Mais energia para resfriamento ↑ Mais energia para ventiladores de resfriamento
Seção “Sistema AVAC” (Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado)			
Entradas	Sem sistema AVAC entregue	Sem sistema AVAC entregue	Sem sistema AVAC entregue
Sistema AVAC (Resultado)	Sem mudança nos percentuais de energia, mas mudanças nos gráficos Energia – Gráfico de Energia Surgimento da parcela de Energia virtual Energia – Gráfico de “Emissões de carbono” ↓ Diminuição geral ⁷² de emissões de CO ₂ operacional relacionada ao uso de eletricidade	Sem mudança nos percentuais de energia, mas mudanças nos gráficos Energia – Gráfico de Energia Surgimento da parcela de Energia virtual Energia – Gráfico de “Emissões de carbono” ↓ Diminuição geral de emissões de CO ₂ operacional relacionada ao uso de eletricidade	Sem mudança nos percentuais de energia, mas mudanças nos gráficos Energia – Gráfico de Energia Surgimento da parcela de Energia virtual Energia – Gráfico de “Emissões de carbono” ↓ Diminuição geral de emissões de CO ₂ operacional relacionada ao uso de eletricidade
Seção “Uso de Combustível”			
Para Cozinhar	Gás de cozinha (GLP) Fator de emissão: 0,24 kg de CO ₂ /kWh	Gás de cozinha (GLP) Fator de emissão: 0,24 kg de CO ₂ /kWh	Gás de cozinha (GLP) Fator de emissão: 0,24 kg de CO ₂ /kWh
Para Água Quente	Eletricidade Fator de emissão: 0,15 kg de CO ₂ /kWh	Eletricidade Fator de emissão: 0,15 kg de CO ₂ /kWh	Nenhum
Para Aquecer o ambiente	Eletricidade	Eletricidade	Eletricidade
Uso de Combustível (Resultado)	Sem mudança nos percentuais de energia, mas mudanças no gráfico Energia – Gráfico de “Emissões de carbono” ↑ Aumento geral ⁷³ nas emissões operacionais finais de CO ₂ relacionadas ao uso de eletricidade	Sem mudança nos percentuais de energia e sem mudanças nos gráficos	Queda de – 0.15 % em energia Energia – Gráfico de Energia ↓ Diminuição geral do consumo de energia para água quente Energia – Gráfico de “Emissões de carbono”

⁷² O termo “Diminuição geral” foi utilizado para os casos em que se notou nos gráficos, a diminuição de determinado componente tanto na coluna do Caso-Base quanto na coluna do Caso-Melhorado.

⁷³ O termo “Aumento geral” corresponde ao inverso do termo “Diminuição geral”.

Aba Projeto			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
			 Diminuição geral nas emissões operacionais finais de CO ₂ relacionadas ao uso de eletricidade
Seção “Dados climáticos”			
Entrada	Mantiveram-se os dados-padrão para a cidade de Belém	Mantiveram-se os dados-padrão para a cidade de Belém	Mantiveram-se os dados-padrão para a cidade de Belém
Resultado	Sem mudança nos percentuais de eficiência e sem mudanças nos gráficos	Sem mudança nos percentuais de eficiência e sem mudanças nos gráficos	Sem mudança nos percentuais de eficiência e sem mudanças nos gráficos

Fonte: Autora (2025).

Na seção “Dimensões do edifício”, segundo EDGE (2021) são inseridas informações que tem influência tanto na troca de calor quanto no consumo energético da edificação. Isto foi verificado após o preenchimento desta seção, que gerou melhoria no desempenho energético dos empreendimentos A e B, os quais, respectivamente, apresentavam tanto o posicionamento da edificação quanto a fachada maior voltada nas direções Noroeste – Sudeste e Nordeste – Sudoeste. Esse melhor desempenho foi notado através do gráfico de energia em que demonstrou menor consumo de energia direcionada para o “Resfriamento” e para “ventiladores de resfriamento”.

O empreendimento B apresentou melhor desempenho neste quesito com pequeno acréscimo entre os três empreendimentos, isto está relacionado ao fato dele apresentar-se voltado para a direção Nordeste além de ter maior fachada neste sentido, esta orientação se refere ao azimuth de 45 °.

Segundo o estudo de Veiga, Souza e Lamberts (2023) que analisaram uma edificação térrea em São Luís/MA - que apresenta classificação climática igual a de Belém/PA (ABNT, 2024) - a orientação a 45° torna-se mais benéfica nestes climas, no entanto destacam que não é o fator mais preponderante necessitando de outras medidas bioclimáticas. Já Cunha (2006) relata a importância de direcionar as edificações com maiores fachadas nos sentidos norte-sul, a fim de evitar a radiação solar direta.

Uma curiosidade identificada neste trabalho na seção “Dimensões do edifício”, é a questão dos recessos. Se considerar apenas o posicionamento do empreendimento C, por exemplo, ele estaria voltado na direção Norte-Sul e se beneficiaria desta configuração, estando de acordo com o relatado por Cunha (2006). No entanto, devido aos recessos, a fachada maior não coincidiu com a direção em que o bloco está voltado.

No que tange às fachadas, a carga térmica gerada no lado oeste é maior (Gonçalves et al., 2024), fato que pôde ser verificado no empreendimento C demandando mais energia para gerar conforto térmico devido a sua fachada maior estar voltada às direções Leste – Oeste. O empreendimento C, teve queda em seu desempenho energético gerando maior consumo de energia para “Resfriamento” e para “ventiladores de resfriamento”.

Diante disso, é possível verificar a importância da geometria da edificação no desempenho energético e a necessidade de considerar os recessos nas laterais em que se quer evitar o ganho térmico. Além disso, Cunha (2006) retrata a necessidade de proteger as fachadas voltadas a leste e oeste, e sugere medidas como vegetação nessas laterais, beirais protegendo as janelas a fim de evitar a radiação solar direta, mas permitir a abertura e a entrada de ventilação. Outra solução poderia ser a utilização de brises na fachada Oeste, como os recomendados na medida EMM04 (Dispositivos externos de sombreamento) do EDGE.

O preenchimento da seção “Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado” (Sistema AVAC) foi igual nos três empreendimentos, ou seja, nenhum dos empreendimentos continha em seu projeto um sistema de climatização, que se refere o emprego de tais medidas a serem entregues na conclusão da obra. Obteve-se, portanto, os seguintes resultados ao desmarcar o uso de sistema de climatização (Sistema AVAC), os quais foram:

- Todos os empreendimentos apresentaram o aparecimento da energia virtual, ou seja, a energia para o resfriamento e a energia para os ventiladores de resfriamento passaram a ser “energia virtual para conforto”;
- Os empreendimentos A, B e C apresentaram a diminuição das emissões de CO₂ operacional relacionada ao uso de eletricidade nas edificações.

O aparecimento da energia virtual demonstra a necessidade de equipamentos mecânicos futuros para gerar conforto, diminuir esta energia virtual deve ser um dos aspectos a ser trabalhado para atingir os percentuais mínimos de eficiência energética (EDGE, 2021).

Na seção “Uso de Combustível”, haviam vários campos a preencher, eles são detalhados a seguir:

- Dado que os empreendimentos A, B e C não continham previsão de combustível para o aquecimento da edificação, ao se preencher o campo “Para aquecer o ambiente” no qual não havia a opção “Nenhum” combustível, utilizou-se nos três empreendimentos a entrada padrão, que se refere à “Eletricidade”, e é o combustível com menor fator de emissão de CO₂ dentre as opções disponíveis no EDGE *app*;

- No que se refere ao campo combustível “Para cozinhar”, os três empreendimentos previam o uso de gás de cozinha (GLP⁷⁴), o qual foi assinalado;

- O campo “Para Água quente”, se refere ao combustível utilizado para o fornecimento de água quente tanto para chuveiros quanto para torneiras. Dado que nenhum empreendimento havia previsão de fornecimento de água quente para torneira, o critério para o preenchimento deste campo foi a previsão de instalação elétrica para chuveiros. Então assinalou-se nos empreendimentos A e B o uso de “Eletricidade”, pois ambos em seus projetos constavam a instalação para o chuveiro elétrico, já no empreendimento C assinalou-se a opção “Nenhum” visto que ele não previa uso de chuveiro elétrico.

Após inserir as entradas na seção “Uso de Combustível”, notou-se comportamentos distintos entre os empreendimentos, que foram visualizados na Categoria Energia e serão descritos a seguir:

- No empreendimento A, a previsão de água quente impactou no aumento geral das emissões operacionais finais de CO₂ relacionadas ao uso de eletricidade, visualizado no gráfico de “Emissões de Carbono”;

- No empreendimento B, a previsão de água quente não gerou mudanças nos percentuais de energia e, nos gráficos de “Energia” e de “Emissões de Carbono”. A diferença de comportamento entre o empreendimento A e B pode estar relacionada ao fato do empreendimento A apresentar o dobro de unidades em relação ao B, então as entradas inseridas no campo “Água quente” referente ao empreendimento B devido à quantidade menor de unidades não foram suficientes para a promover alteração nas emissões operacionais;

- No empreendimento C, a ausência de previsão de água quente, resultou em uma diminuição geral no consumo de energia para água quente, além da parcela “água quente” desaparecer do gráfico de “Energia”, e houve diminuição geral nas emissões operacionais finais de CO₂ relacionadas ao uso de eletricidade (Gráfico de “Emissões de Carbono”). Paralelamente, no entanto, verificou-se um percentual de queda no desempenho energético, não sendo possível explicar este comportamento, pois seria esperado melhoria na Categoria Energia.

Os comportamentos verificados nas seções “Sistema AVAC” e “Uso de Combustível”, serão tratados juntamente com outras medidas que influenciaram nos Gráficos de “Emissões de Carbono”, e serão discutidos ao final do item 4.2.2 (Categoria Energia).

Foi possível notar, por meio da entrada de dados na Aba Projeto, do cômputo das diferenças de percentuais verificadas juntamente com o comportamento dos gráficos, que as

⁷⁴ GLP – Sigla para Gás Liquefeito de Petróleo.

informações de projeto da edificação, como geometria, uso de combustível, sistemas de climatização, entre outras, interferem no desempenho energético dela.



















Situação que corroborou a importância de decisões construtivas projetuais, visto que impactarão ao longo do ciclo de vida da edificação e no conforto térmico de seus moradores. Ao finalizar a Aba Projeto, as informações preenchidas são salvas e se direciona à categoria Energia. Nesta próxima categoria são analisadas as soluções relacionadas ao desempenho energético.

























4.2.2. Categoria Energia

Os três empreendimentos apresentaram desempenho energético acima do mínimo exigido pelos padrões EDGE. Ao preencher as informações das edificações de acordo com seus projetos, houve medidas em que elas obtiveram desempenho energético positivo e outras negativo. Com base no desempenho geral positivo, o Quadro 12 evidencia as medidas, entradas e resultados obtidos para as estratégias em que os empreendimentos obtiveram melhoria para atingir a categoria Energia.

Quadro 12 – O comportamento dos empreendimentos A, B e C nas estratégias construtivas da metodologia EDGE, da categoria Energia, que produziram desempenho positivo.

Categoria Energia			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Desempenho	25,77 % (Positivo)	38,55 % (Positivo)	35,12 % (Positivo)
Nº de estratégias selecionadas que constam no projeto	9 medidas, sendo: 1 – Razão Janela/Parede (EEM01*); 2 – Telhado Reflexivo (EEM02) 3 – Paredes externas reflexivas (EEM03); 4 – Isolamento do telhado (EEM05*) 5 – Isolamento da laje térrea (EEM06*) 6 – Isolamento das paredes externas (EEM08*) 7 – Eficiência do vidro (EEM09*) 8 – Ventilação natural (EEM11) 9 – Sistema de água quente doméstico (EEM18*)	10 medidas, sendo: EEM01*, EEM02, EEM03, EEM05*, EEM06*, EEM08*, EEM09*, EEM11, EEM18* e EEM24 (Controles de iluminação).	10 medidas, as quais são: EEM01*, EEM02, EEM03, EEM05*, EEM06*, EEM08*, EEM09*, EEM11, EEM23 (Iluminação eficiente para áreas externas) e EEM24.
Nº de estratégias com efeito positivo	6 medidas	7 medidas	7 medidas
Medidas de eficiência energética que geraram efeito positivo (em	EEM01*, EEM03, EEM05*, EEM06*, EEM09* e EEM11	EEM01*, EEM03, EEM05*, EEM06*, EEM09*, EEM11 e EEM24	EEM01*, EEM03, EEM06*, EEM09*, EEM11, EEM23 e EEM24

Categoria Energia			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
percentuais da categoria)			
Medida	EEM01* Razão janela-parede	EEM01* Razão janela-parede	EEM01* Razão janela-parede
Valor do “Caso-Base”	20 %	20 %	20 %
Valor inserido	9,37 % Fachadas com janela: Sudeste (15,57 %), Noroeste (15,57 %) e Sudoeste (1,26 %)	12,25 % Fachadas com janela: Sudoeste (16,80 %), Nordeste (15,91 %), Sudeste (5,19 %) e Noroeste (5,19 %)	10,49 % Fachadas com janela: Norte (19,66 %), Sul (18,85 %), Leste (3,10 %) e Oeste (3,10 %)
Resultado	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 3,42 % em Energia:  Menos energia virtual para resfriamento  Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento Materiais Queda de – 3,00 % em materiais  Menos carbono embutido em vidros de janela  Mais carbono embutido em paredes externas	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 2,6 % em Energia:  Menos energia virtual para resfriamento  Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento Materiais Queda de – 2,00 % em materiais  Menos carbono embutido em vidros de janela  Mais carbono embutido em paredes externas	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 4,43 % em Energia:  Menos energia virtual para resfriamento  Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento Materiais Queda de – 2,00 % em materiais:  Menos carbono embutido em vidros de janela  Mais carbono embutido em paredes externas
Medida	EEM03 Paredes externas reflexivas: Índice de refletância solar	EEM03 Paredes externas reflexivas: Índice de refletância solar	EEM03 Paredes externas reflexivas: Índice de refletância solar
Valor do “Caso-Base”	SRI = 45	SRI = 45	SRI = 45
Valor inserido	SRI = 55 Cor laranja-escuro (na maioria dos blocos)	SRI = 100 Textura rolada com rolo Acabamento fino Cor marfim	SRI = 99 Textura rolada com rolo Acabamento rústico Cor Marfim
Resultado	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 0,99 % em Energia  Menos energia virtual para resfriamento  Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 6,32 % em energia  Menos energia virtual para resfriamento  Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 9,6 % em energia:  Menos energia virtual para resfriamento  Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento
Medida	EEM05* Isolamento do telhado	EEM05* Isolamento do telhado	EEM05* Isolamento do telhado
Valor do “Caso-Base”	Valor U = 2,3 W/m ² .K	Valor U = 2,3 W/m ² .K	Valor U = 2,3 W/m ² .K
Valor inserido	Valor U = 0,88 W/m ² .K	Valor U = 1,10 W/m ² .K	Valor U = 2,57 W/m ² .K
Resultado	Energia – Gráfico de Energia (Consumo)	Energia – Gráfico de Energia (Consumo)	Energia – Gráfico de Energia (Consumo)

Categoria Energia			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
	Melhoria de 4,51 % em energia  Menos energia virtual para resfriamento  Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento	Melhoria de 4,8% em Energia  Menos energia virtual para resfriamento  Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento	Queda de – 1,27 % na energia:  Mais energia virtual para resfriamento  Mais energia virtual para ventiladores de resfriamento
Medida	EEM06* Isolamento da laje térrea/elevada	EEM06* Isolamento da laje térrea/elevada	EEM06* Isolamento da laje térrea/elevada
Valor do “Caso-Base”	Valor U = 0,49 W/m ² .K	Valor U = 0,49 W/m ² .K	Valor U = 0,49 W/m ² .K
Valor inserido	Valor U = 1,27 W/m ² .K Sem nenhum isolamento térmico	Valor U = 1,80 W/m ² .K Sem nenhum isolamento térmico	Valor U = 3,74 W/m ² .K Sem nenhum isolamento térmico
Resultado	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 0,97 % em energia  Menos energia virtual para resfriamento  Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 1,26 % em energia  Menos energia virtual para resfriamento  Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 2,96 % em energia  Menos energia para resfriamento  Menos energia para ventiladores de resfriamento
Medida	EEM09* Eficiência do vidro	EEM09* Eficiência do vidro	EEM09* Eficiência do vidro
Valor do “Caso-Base”	Valor U = 5,75 W/m ² .K CGCS = 0,8 VT = 0,7	Valor U = 5,75 W/m ² .K CGCS = 0,8 VT = 0,7	Valor U = 5,75 W/m ² .K CGCS = 0,8 VT = 0,7
Valor inserido	Valor U = 5,70 W/m ² .K CGCS = 0,52 Transmissão de Luz visível = 0,85	Valor U = 5,70 W/m ² .K CGCS = 0,52 Transmissão de Luz visível = 0,87	Valor U = 5,70 W/m ² .K CGCS = 0,52 Transmissão de Luz visível = 0,85
Resultado	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 1,03 % em energia  Menos energia virtual para resfriamento  Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento Materiais Queda de – 1,00 % em Materiais  Mais carbono embutido em vidros de janela  Mais carbono embutido em isolamento	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 1,29 % em energia  Menos energia virtual para resfriamento  Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento Materiais Queda de – 1,00 % em materiais  Mais carbono embutido em vidros de janela  Mais carbono embutido em isolamento	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 2,03 % em energia  Menos energia para resfriamento  Menos energia para ventiladores de resfriamento Materiais Queda de – 1,00 % em materiais  Mais carbono embutido em vidros de janela  Mais carbono embutido em isolamento
	EEM11 Ventilação natural	EEM11 Ventilação natural	EEM11 Ventilação natural
Valor do “Caso-Base”	Abertura de Fachada (%): 0	Abertura de Fachada (%): 0	Abertura de Fachada (%): 0

Categoria Energia			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Valor inserido	Abertura de Fachada (%): Dormitórios = 39,45 Cozinha = 58,58 Sala de Estar = 36,8 Tipo: Ventilação Cruzada	Abertura de Fachada (%): Dormitórios = 39,24 Cozinha = 25,24 Sala de Estar = 47,28 Tipo: Ventilação Cruzada	Abertura de Fachada (%): Dormitórios = 38,10 Cozinha = 65,30 Sala de Estar = 75,53 Tipo: Ventilação Cruzada
Resultado	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 24,00 % em Energia ↓ Menos energia virtual para resfriamento ↓ Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 14,86 % em energia ↓ Menos energia virtual para resfriamento ↓ Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 31,01 % em energia ↓ Menos energia para resfriamento ↓ Menos energia para ventiladores de resfriamento
Medida	-	-	EEM23 Iluminação eficiente para áreas externas
Valor do “Caso-Base”	-	-	65 L/W
Valor inserido	-	-	Tipo de eficiência: eficácia luminosa Valor : 80 L/W
Resultado	-	-	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Melhoria de 3,53 % em energia ↓ Menos energia para iluminação
Medida	-	EEM24 Controles de iluminação	EEM24 Controles de iluminação
Valor do “Caso-Base”	-	Sem controles de iluminação	Sem controles de iluminação
Valor inserido	-	Com controles de iluminação Tipo: Ligar/Desligar Automático	Com controles de iluminação Tipo: Ligar/Desligar Automático
Resultado	-	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Aumentou 0,02 % em energia ↓ Menos energia para iluminação	Energia – Gráfico de Energia (Consumo) Aumentou 0,05 % em energia ↓ Diminuição geral de energia para iluminação

Fonte: Autora (2025).

Ao iniciar a Categoria “Energia” a primeira medida é a Razão Janela/Parede (EEM01*) chamada WWR, esta estratégia beneficiou positivamente a eficiência energética nos três empreendimentos (A, B e C) propiciando menos energia virtual para resfriamento e para ventiladores de resfriamento.

EDGE (2021) destaca que esta estratégia é importante na transferência de calor para a edificação, frisando que em climas quentes é interessante ter um WWR menor, no caso de

radiação solar direta sobre as aberturas, além do adequado posicionamento de tais aberturas, a fim de demandar menos energia para o conforto térmico dos usuários.

O clima da cidade de Belém é “muito quente e úmido” e se enquadra na Zona Bioclimática Brasileira 6A segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2024), no entanto, esta norma não apresenta sugestões construtivas como realizado na NBR 15220-3 (ABNT, 2005). A Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) também apresenta requisitos construtivos e se baseia na divisão bioclimática da antiga NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Então baseando-se na norma anterior, a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a qual dividia o país em 8 zonas e enquadrava a cidade de Belém na Zona Bioclimática 8 (ZB8), a mesma sugere o uso de aberturas grandes de ventilação e o sombreamento delas, assim como o uso de ventilação cruzada como estratégia de condicionamento térmico.

Corroborando com a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) que detalha condições para as janelas, como a utilização de esquadrias que possam promover maior percentual de ventilação, em cômodos como sala utilizar recursos como brises e varandas para promover o sombreamento de aberturas, já em quartos inserir venezianas a fim de possibilitar a ventilação e o controle da luz solar.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) ainda cita que devido ao clima, nos períodos mais quentes a ventilação passiva não será o suficiente para o conforto, o que corrobora com o resultado obtido nos empreendimentos (A, B e C) que com seus percentuais de aberturas (WWR) inseridos demonstraram a diminuição, mas não ausência de necessidade de energia virtual para o conforto.

Sabe-se que em uma edificação na cidade de Belém/PA o lado leste permite menor intensidade solar que o lado oeste (Gonçalves *et al.*, 2024). Quanto ao posicionamento das aberturas em relação à incidência solar, o lado leste proporciona menos radiação solar direta sobre as aberturas havendo menos carga térmica na edificação. Este potencial poderia ser melhor aproveitado nos empreendimentos, caso tivesse sido investido em mais aberturas voltadas à Leste.

É visível a influência da medida EEM01* Razão janela-parede no desempenho energético das edificações, portanto o WWR (Razão Janela-Parede) é uma questão que deve ser trabalhada desde a etapa projetual, pois depois de pronta a edificação não será possível intervenções nesta vertente. Com base na literatura para a zona Bioclimática de Belém/PA, um WWR equilibrado deve estar associado a um posicionamento adequado das aberturas

(evitando-se a fachada oeste), além do cobrimento das mesmas com brises, a fim de evitar o ganho de calor direto.

Ainda na medida EEM01*, os percentuais de aberturas dos três empreendimentos não ultrapassaram o valor do “Caso-Base”. Devido à baixa “relação Janela – Parede” tem-se menos área de janela em detrimento à área de parede, desta forma foi possível verificar em todos uma queda na quantidade de carbono embutido em vidros de janelas, diminuição maior para o empreendimento A (- 3,5 kgCO₂e/m²), seguido do C (-2,7 kgCO₂e/m²), e por último o B (- 1,8 kgCO₂e/m²).

Foi verificado em todos os empreendimentos o aumento do carbono embutido em paredes externas, sendo 15,70 kgCO₂e/m² para empreendimento A, 11,9 kgCO₂e/m² para o empreendimento C e 7,9 kgCO₂e/m² para o empreendimento B. Este comportamento variável entre os empreendimentos, se deve ao fato de que nos empreendimentos com blocos menores (A e C), os quais tem área de parede externa menor, qualquer alteração na razão janela/parede causa um impacto maior neles.

Para todos, A, B e C, notou-se diminuição no desempenho na categoria Materiais, pois apesar de ter havido a diminuição de carbono embutido em vidros não foi suficiente para equilibrar a quantidade de parede adicionada e carbono embutido nela.

Isto é explicado pelo maior impacto em carbono incorporado nas paredes externas utilizadas que nas esquadrias. Com base nos dados do EDGE (2024c) sobre o carbono incorporado, os materiais vidro simples (27 kgCO₂e/m²) e alumínio (57 – 169 kgCO₂e/m²) na composição de uma esquadria somariam no mínimo a faixa de 84 a 196 kgCO₂e/m², já no caso de paredes externas realizadas com tijolo maciço (0 - 25% de vazios) com reboco interno e externo (esta é a opção do “Caso-Base”) geram de 130 a 202 kgCO₂e/m².

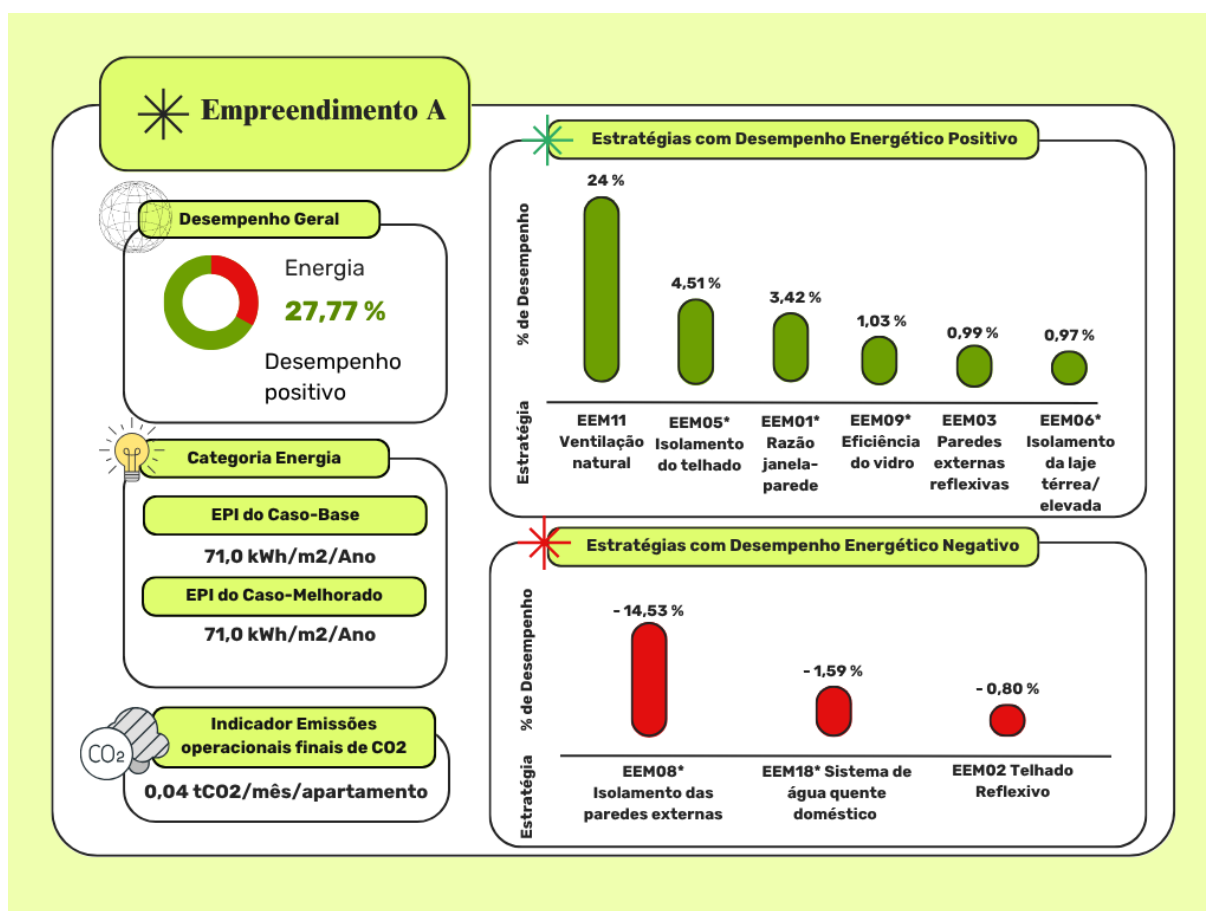
A medida EEM02 Telhado Refletivo, se refere ao SRI de telhados. Esta característica, segundo EDGE (2024a) depende de duas variáveis, o material e a cor do acabamento do telhado, o SRI alto é interessante em climas quentes, visto que permite menor calor absorvido para a edificação.

Este comportamento foi constatado na simulação, pois nenhum dos três empreendimentos adotou mecanismo ou acabamento que visasse aumentar o SRI no telhado, o que refletiu, em todos, a ocorrência de maior demanda de energia virtual para resfriamento e ventiladores de resfriamento. Portanto, a medida EEM02 Telhado Refletivo promoveu desempenho energético negativo, com maior impacto, respectivamente, em A, C e B.

A figura 17 apresenta o painel visual do desempenho energético do empreendimento A, no qual verifica-se o comportamento anteriormente mencionado, além dos indicadores relacionados à categoria Energia, as estratégias e seus efeitos no desempenho energético.

Como sugestões para intervir no SRI da cobertura: a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b, p. 24) destaca o uso de cores “claras a médio-claras”; a NBR 15220-3 (2005, p.10) prescreve cobertura “leve refletora”, ou seja, alto SRI; e Lamberts et al. (2020) sugerem cores claras.

Figura 17 – Dashboard Energia Empreendimento A.



Fonte: Autora (2025).

A medida EEM03 Paredes externas reflexivas gerou benefício nos três empreendimentos diminuindo a energia virtual para resfriamento e para ventiladores de resfriamento. O impacto positivo maior foi notado nos empreendimentos B e C, que utilizaram o acabamento da parede externa com SRI (Índice de refletância solar) mais alto, diferente do empreendimento A que apresentou SRI mais baixo (Figura 17). Portanto, de forma geral, quanto maior o SRI do acabamento das paredes melhor para o desempenho energético.

EDGE (2021) destaca que esta estratégia é importante para regiões de clima quente, pois a alta refletividade solar da parede externa diminui a temperatura dela, dessa forma

utilizam-se menos recursos para realizar o resfriamento da edificação, melhorando seu desempenho. Fato corroborado com as recomendações da: Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) que indica a utilização de cores claras em paredes externas, na Zona 8; E da NBR 15220-3 (2005, p.10) que recomenda parede “leve refletora”.

Quanto à medida EEM05* Isolamento do telhado, a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) recomenda para o clima de Belém, cobertura com valor $U \leq 2,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (para forros ou áticos não ventilados), este é o valor do “Caso-Base” no EDGE. A Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) e Lamberts et al. (2020) apresentam valores ainda mais conservadores neste sentido, exigem cobertura com valor $U \leq 2,02 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para a Zona 8. Além disso, a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) exige a utilização de laje na cobertura.

A estratégia EEM05* gerou melhoria do desempenho energético dos empreendimentos A e B, os quais utilizaram nesta medida um telhado com valor U menor que o valor do “Caso-Base” e consoante com a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) e Lamberts et al. (2020). Isto foi refletido em menos energia virtual para resfriamento e para ventiladores de resfriamento. Já o empreendimento C que teve seu telhado com valor U mais alto que o valor do “Caso-Base” e os limites descritos na literatura anteriormente citada, gerando índice negativo para o desempenho energético e maior consumo de energia virtual para conforto.

Esta ocorrência é ratificada por EDGE (2021) que destaca o maior isolamento estar associado a um valor U mais baixo, pois isto demonstra que há menos transferência de calor entre a face externa e a face interna da envoltória da edificação, beneficiando o desempenho de edificações em climas quentes.

A medida EEM06* Isolamento da laje térrea/piso elevado gerou benefício para todos os empreendimentos. Nesta estratégia, notou-se que o valor U considera apenas as camadas referentes ao piso estrutural e o isolamento utilizado, não devem ser inseridas informações do acabamento e contrapiso. No que se refere ao valor U, este que coordenou as mudanças na medida EEM06*, no entanto o resultado nela não apresentou comportamento similar ao notado na estratégia EEM05*.

Foi possível notar que os três empreendimentos apresentaram piso com valor U mais alto que o “Caso-Base”, no entanto conforme se aumentou o valor U obteve-se melhor desempenho energético, diminuindo a energia virtual para resfriamento e para ventiladores de resfriamento nas edificações. O que contrasta com o comportamento esperado para esta medida, pois segundo EDGE (2024a), um valor menor de U, propicia melhor isolamento e menores cargas de resfriamento na edificação.

Esta ocorrência contraditória nos resultados da medida EEM06* pode ser um indicativo de que esta estratégia no EDGE *app* esteja em manutenção, devido as atualizações para a Versão 3 do aplicativo EDGE (EDGE, 2025), gerando benefícios no desempenho energético com quaisquer valores que fossem inseridos na medida EEM06*.

Quanto aos pisos térreos, não há valores limites normativos na NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e na Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b), como referência para o valor U de pisos térreos/pisos térreos elevados do solo.

Na literatura, é destacado o uso de pisos inferiores elevados do solo para diminuir a entrada de umidade na edificação (Cunha, 2006), além de ser uma medida interessante para o conforto térmico na zona climática de Belém. Visto que Gonçalves et al. (2024) ao utilizarem nos andares térreos o sistema de pilotis, obtiveram nas simulações maior fluxo de ar nos apartamentos. Dessa forma, pode-se afirmar que decisões construtivas consideradas ainda na fase de concepção projetual interferem no desempenho térmico da edificação.

Quanto aos sistemas de vedação vertical, vale ressaltar a importância da medida isolamento de paredes EEM08* da Categoria Energia, demonstrada no *Dashboard* de cada um dos três empreendimentos. Nesta medida cada camada do sistema de parede externa foi inserida assim como a espessura de cada uma delas.

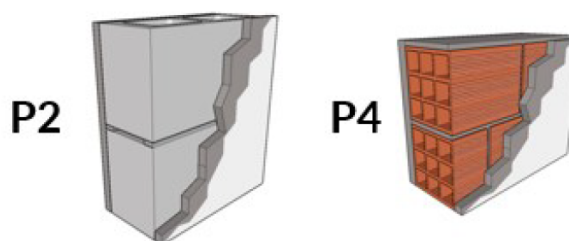
A EEM08* trata do valor U relacionado às paredes externas, para a qual o “Caso-Base” apresentava valor $U = 2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, já a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) e Lamberts et al. (2020) recomendam, para a Zona 8, o valor $U \leq 2,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. E a NBR 15220-3 (2005) sugere o uso de parede leve para esta zona, e não aponta os limites de valor de U.

Verifica-se que nesta medida o “Caso-Base” foi mais rigoroso que a literatura e normativas, no valor de U. Além de que o valor U em EEM08* foi o elemento direcionador no desempenho dos empreendimentos, diferente do que ocorreu nas medidas da Categoria Materiais, MEM05* (paredes externas) e MEM06* (paredes internas), nas quais a característica que regeu os resultados foi o carbono incorporado nas tipologias construtivas escolhidas.

No que se refere a recomendações construtivas para a Zona bioclimática de Belém/PA, Lamberts et al. (2020) sugerem dois sistemas de paredes que se apresentam dentro do limite da literatura ($U \leq 2,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) (Figura 18), os sistemas são P2 (parede de blocos de concreto com dimensões 19x19x39 .cm, com reboco externo e interno, totalizando 23.cm de espessura) e P4 (parede em alvenaria de tijolo cerâmico com largura de 14x19x29.cm, com reboco externo e interno, totalizando 18.cm de espessura).

Com base nestes sistemas recomendados e nos empreendimentos, A e C utilizaram nas paredes externas o sistema de muro de concreto armado, com alto valor de U. O empreendimento B utilizou o sistema de blocos de concreto, no entanto com blocos de espessura de 14.cm e apenas com chapisco e reboco na face externa, totalizando 16.cm de espessura. Esta configuração utilizada nas paredes de B não se enquadrou no recomendado na literatura pois gerou um valor de U alto.

Figura 18 – Sugestões construtivas para a Zona 8.



Fonte: Modificado de Lamberts et al. (2020).

Em EEM08*, os empreendimentos A, B e C utilizaram sistemas que apresentaram valor U a partir de 3,21 W/m².K, valor acima do “Caso-Base” ($U = 2,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$) e do recomendado na literatura, promovendo o baixo isolamento da envoltória, demandando maior carga de energia para resfriamento e ventiladores de resfriamento, o que afetou negativamente o desempenho energético.

Dentre os três empreendimentos, o que obteve menor impacto negativo no desempenho energético devido à escolha do isolamento da parede, foi o empreendimento B. A figura 19 apresenta o painel visual do desempenho energético do empreendimento B, no qual verifica-se o comportamento supracitado.

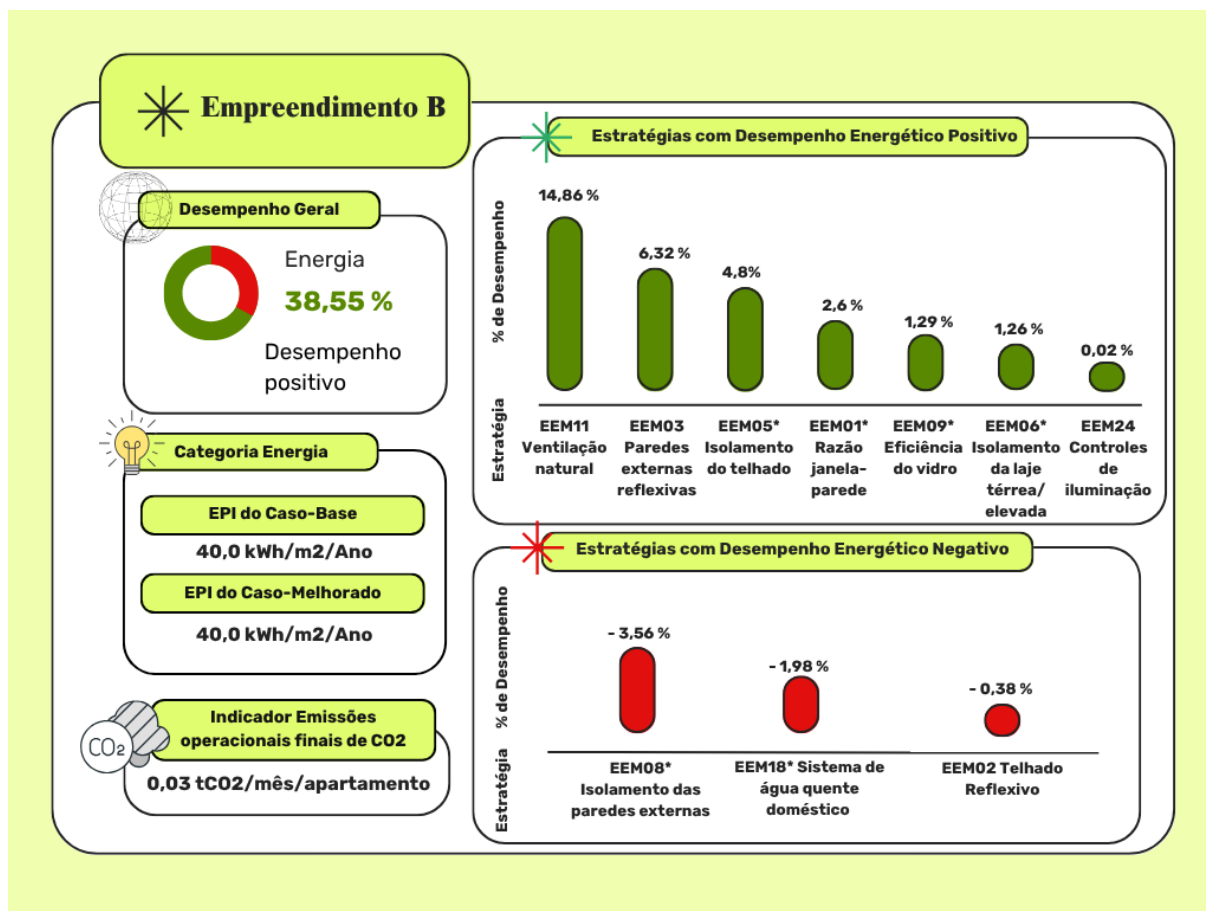
Este comportamento no resultado da medida EEM08* traz à tona a reflexão da necessidade de utilizar sistemas de vedação vertical que possam beneficiar a zona bioclimática no qual a edificação está inserida.

A medida EEM09* se refere à Eficiência do vidro utilizado nas esquadrias e utiliza os índices Valor U, CGCS (Coeficiente de Ganho de Calor Solar) e TV (Transmissão de Luz visível) dele. Nos arquivos Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) e Lamberts et al. (2020) não se encontram recomendações sobre os valores a serem inseridos nesta estratégia. EDGE (2021) destaca que em climas quentes – o caso de Belém/PA – deve-se reduzir o ganho de calor através dos vidros, para isto CGCS e Valor U menores são os indicados.

Nesta medida EEM09*, os três empreendimentos foram beneficiados na Categoria “Energia” por apresentarem melhores índices de valor U e CGCS, ou seja, mais baixos que o

“Caso-Base”. Isto gerou uma diminuição na energia utilizada para resfriamento e ventiladores de resfriamento. O índice alto de TV dos empreendimentos é desejável segundo EDGE (2021) para aproveitar a luz solar como iluminação natural.

Figura 19 – Dashboard Energia Empreendimento B.



Fonte: Autora (2025).

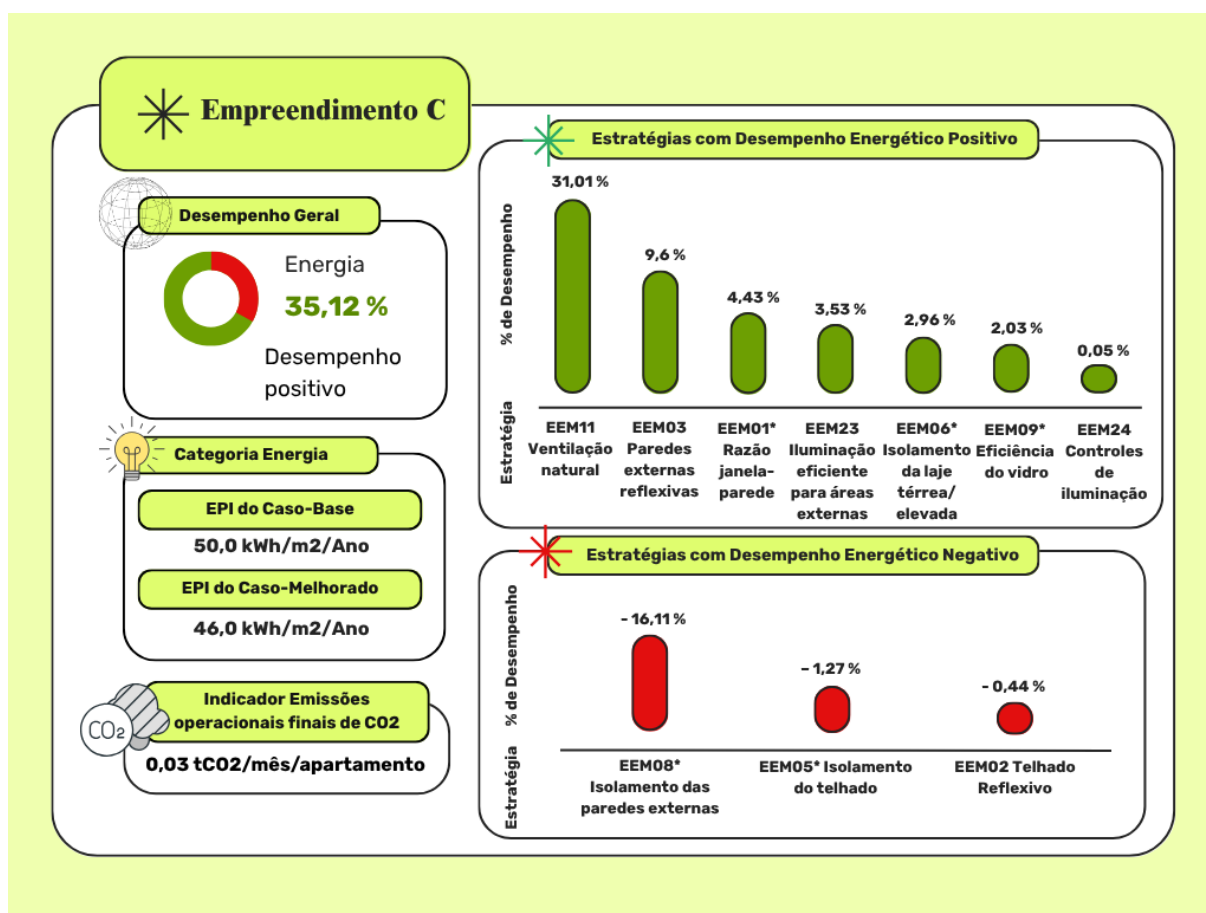
A mesma medida EEM09* gerou, no entanto, a diminuição no desempenho da categoria “Materiais” devido ao incremento de carbono incorporado em vidros e em isolamento. Nesta medida ainda haviam sido inseridas apenas característica iniciais do vidro que seria utilizado, como os índices relatados anteriormente, valores como “espessura” não tiveram influência no desempenho da medida EEM09*.

Então, com base nos valores inseridos e nos resultados, quanto ao vidro, destaca-se o aumento em carbono incorporado devido ao valor U do vidro do “Caso-Base” ser 5,75 W/m².K e dos vidros dos empreendimentos serem 5,70 W/m².K. Sabe-se que valores menores de U geram maior isolamento (EDGE, 2021) da estrutura, mas demandam mais material, ou seja, geram mais carbono incorporado. No que se refere ao incremento em isolamento, este pode estar relacionado à estrutura da esquadria que receberá o vidro e terá acessórios e materiais a mais empregues para a estanqueidade da estrutura.

De modo geral, EDGE (2021) retrata que ao selecionar uma estratégia em energia que gera impacto negativo em materiais, este último pode ser compensado pelo conforto térmico e melhoria nos índices em Energia. Também, o autor adverte sobre o custo/benefício de se adotar medidas construtivas que possam beneficiar o desempenho, antes de investir em um sistema de climatização.

Na medida EEM11 “Ventilação Natural”, esta não é uma medida obrigatória, mas promove efeitos significativos no desempenho das edificações, como é o caso dos empreendimentos que apresentaram melhoria de 31.01 %, 24.00 % e 14.86 %, respectivamente em C, A e B. A figura 20 apresenta este comportamento da estratégia EEM11 no empreendimento C.

Figura 20 – Dashboard Energia Empreendimento C.



Fonte: Autora (2025).

Para reivindicar a medida EEM11, os empreendimentos enquadraram-se em dois critérios necessários: apresentaram área de abertura de janela com percentual igual ou acima a 20 %, 20 % e 25 % de área de piso, respectivamente, nos cômodos quartos, sala de estar e cozinha; e, obedeceram a razão igual a 5 entre a profundidade do espaço e a altura do pé direito.

Ainda neste sentido, mas exclusivamente sobre os ventos, conforme recomendado pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) deve-se considerar a direção dele na localidade. A direção predominante na cidade de Belém, segundo Gonçalves *et al.* (2024) é a direção Leste, de acordo com o INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (1991-2020) é a direção Nordeste, e segundo a plataforma nacional PROJETEEE - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes (2016) ocorre a prevalência de ventos à leste, seguidos de ventos à sudeste e em terceiro lugar ventos à nordeste.

Portanto, verifica-se que o posicionamento de aberturas voltadas à cardeal Leste e seus colaterais Nordeste e Sudeste, beneficiaria não somente a redução de carga térmica sobre elas – como citado anteriormente - mas também a ventilação natural.

Outra questão é que o tipo de ventilação utilizada nos três empreendimentos foi “ventilação cruzada”. Recomendação construtiva presente na antiga NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e na recomendação da Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) para edificações multifamiliares.

Como adendo existem aspectos importantes que estão relacionados à ventilação natural na Zona ZB8 (atualmente 6A), que os empreendimentos não atenderam e seguem como sugestão:

- O requisito obrigatório da atual Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) que se refere ao uso de recursos para sombrear as aberturas de salas e venezianas para os dormitórios;
- O uso de esquadrias do tipo “abrir” (Lamberts et al., 2020) e sem folhas fixas (Portaria MCID nº 725, Brasil, 2023b) a fim de favorecer a ventilação. Visto que nos empreendimentos foram utilizadas esquadrias de correr, as quais segundo SindusCon-SP (2018) permitem a abertura de somente até a metade do vão;
- Além de que o uso de aberturas grandes na Zona 8 é descrito na norma NBR 10821-4 (ABNT, 2017) como solução para a iluminação natural em ambientes de permanência prolongada (quartos e sala);
- O uso de gradil nas janelas das unidades térreas dos empreendimentos e o uso do recurso de ventilação noturna descritos na Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b), visto que não foram verificados nos projetos a utilização de gradil e de elementos que permitissem a ventilação de salas e quartos garantindo a segurança no período da noite.

Quanto às sugestões acima, o uso de medidas combinadas beneficia o desempenho térmico atual e futuro das edificações frente às mudanças climáticas (Triana, Lamberts e Sassi, 2018).

A medida EEM18* é visível apenas nos empreendimentos que previram a utilização de chuveiro elétrico, ou seja, em A e B. Após a inserção de dados, a utilização desta medida gerou, em ambos os empreendimentos, o desempenho energético negativo, o qual foi resultante do aumento do consumo de energia direcionada para o aquecimento de água, não foi verificado, no entanto, mudanças nas emissões de CO₂ operacionais devido a isso.

Os chuveiros previstos nos empreendimentos A e B não são chuveiros eficientes. E dado que a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b), no que se refere a água quente, prevê ponto elétrico para chuveiro e ponto hidráulico para este, com vazão mínima de 12 L/min. Portanto, nos empreendimentos MCMV devem-se preparar para suprir esta questão mencionada, especificando equipamentos eficientes ou, como descrito por Abrahão e Souza (2021) buscando soluções, para a promoção de água quente por meio de sistemas de energia solar, através de incentivos governamentais, por exemplo.

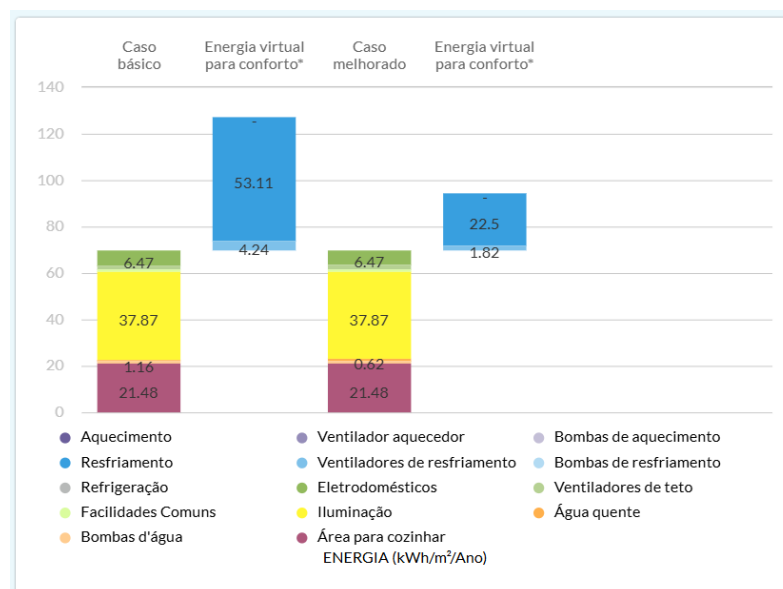
No que se refere à iluminação, as medidas EEM23 e EEM24 se enquadram neste quesito e proporcionaram menos energia para iluminação nos empreendimentos em que estiveram presentes. Entre as medidas, a EEM23 gerou melhor desempenho, mas esteve presente apenas no empreendimento C, por meio de luminárias LED inseridas nas áreas externas dos blocos. Já a EEM24, que se refere a utilização de mecanismos de controle de iluminação, constava em B e C. Portanto, o empreendimento A foi o único que não apresentou nenhuma medida relacionada diretamente à iluminação.

A Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) destaca como obrigatórias a utilização de lâmpadas LED externamente e internamente aos blocos, além do uso de sensores para iluminação em zonas como corredores. Portanto, os empreendimentos que seguirem a Portaria atual estarão aptos para reivindicarem as medidas EEM23 e EEM24 no EDGE *app*.

Analisando os gráficos gerados na Categoria Energia, o gráfico “Energia” é responsável por apresentar de maneira visual, por meio de colunas separadas, os KPIs EPI (Índice de Desempenho Energético) do “Caso-Base” (kWh/m²/Ano) e EPI do Caso-Aprimorado (kWh/m²/Ano) - estes KPIs foram pré-selecionados para este trabalho -, além da Energia Virtual no “Caso-Base” e a Energia Virtual do Caso-Aprimorado.

No gráfico “Energia”, todas as colunas são constituídas de parcelas que representam o emprego no uso da energia (EDGE, 2021), como se pode visualizar no gráfico de “Energia” do empreendimento A (Figura 21).

Figura 21 – Gráfico de “Energia” do empreendimento A.



Fonte: Modificado de EDGE *app* (2025).

Em todos os empreendimentos notou-se que, não obstante o bom desempenho identificado na categoria Energia, todos necessitarão de equipamentos mecânicos para a promoção de conforto térmico, relacionado ao calor, para os usuários das edificações. Isto foi perceptível devido à coluna Energia Virtual presente em todos os gráficos de energia, denotando que as características desses empreendimentos não são suficientes para promover o conforto térmico.

Comparando os resultados dos gráficos de “Energia” dos empreendimentos, notou-se um comportamento inversamente proporcional das grandezas demanda de “Energia virtual” e o “Desempenho energético”. Visto que A, C e B, apresentaram energia virtual para resfriamento e ventilação, respectivamente, de 24,32 kWh/m²/ano, 21,2 kWh/m²/ano e 10,79 kWh/m²/ano, ao passo que seu desempenho energético foi, respectivamente, de 27,77 %, 35,12 % e 38,55 %.

Quanto ao KPI Uso final de energia, nele como descrito por EDGE (2024a), exclui-se a parcela Energia Virtual. Este KPI supracitado corresponde ao KPI EPI (Índice de Desempenho Energético) do Caso-Melhorado, no entanto, na unidade mensal e em função da unidade residencial. Referente ao KPI Uso final de energia, os empreendimentos A, B e C, apresentaram respectivamente, 272 kWh/mês/apartamento, 177 kWh/mês/apartamento e 196 kWh/mês/apartamento.

O KPI Uso final de Energia é uma medida importante, entretanto recomenda-se analisar, em cada empreendimento, o comportamento com base entre os KPIs EPI do “Caso-Base” e EPI do Caso-Melhorado, por isso eles foram selecionados. Dentre as razões:

- A fim de perceber as melhorias ou efeitos negativos no consumo energético, ou seja, perceber o cenário antes e depois das medidas selecionadas;

- A energia virtual está presente no cálculo do percentual mínimo para o quesito “energia” da certificação EDGE (EDGE, 2024a), no entanto, não é inserida no cálculo dos KPI EPI do “Caso-Base” e o KPI EPI do Caso-Melhorado, portanto, melhorias em termos de percentual de eficiência energética podem não se desdobrar em melhorias na intensidade energética, devido a não integração da Energia Virtual na intensidade energética.

Esta última questão foi verificada neste trabalho, em que os empreendimentos A, B e C, apresentaram cada um, na maior parte, a redução em termos de Energia Virtual para o conforto, apresentando percentuais acima de 20 % na Categoria Energia, entretanto apenas o empreendimento C obteve melhorias na intensidade energética visualizada nos KPIs EPI do “Caso-Base” e EPI do Caso-Melhorado.

Isto não quer dizer que a Energia Virtual não seja um fator importante para se trabalhar, de modo algum, pois em um cenário futuro, ela entrará na intensidade energética da edificação, além está relacionada ao conforto dos usuários da edificação, e como citado por EDGE (2024a) ela deve ser reduzida assim como as outras parcelas.

No entanto, no cenário de descarbonização, Zou et al. (2023) abordam que quando se trata de descarbonizar o setor de edificações, o enfoque deve ser sobre a intensidade energética e a quantidade de carbono oriunda do uso de energia. Ressalta-se, portanto, que se deve ter um olhar sobre a intensidade energética, diante disso a seguir serão detalhados os resultados dos KPIs EPI do “Caso-Base” e EPI do Caso-Melhorado, nos empreendimentos.

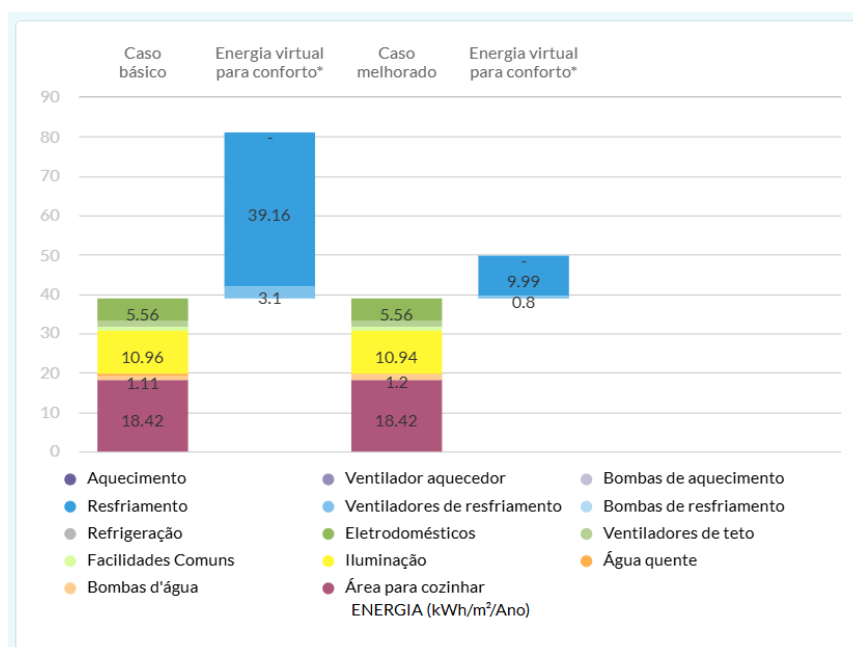
Nos empreendimentos A e B, verificou-se que as colunas que representavam o KPI EPI do “Caso-Base” e o KPI EPI do Caso-Melhorado se dividiram nas parcelas: Cozinha, Bombas d’água, Água quente, Iluminação, Instalações comuns/técnicas, Ventiladores de teto, Eletrodomésticos.

Quanto ao empreendimento A, os indicadores “EPI do “Caso-Base”” e o “EPI do Caso-Melhorado” apresentaram no gráfico os valores, respectivamente, 70,28 kWh/m²/Ano e 70,41 kWh/m²/Ano, demonstrando que houve uma fração de aumento no consumo energético, referente às características do empreendimento A. Devido à proximidade de valores, o software apresentou nos KPIs o valor igual para ambos, no valor de 71 kWh/m²/ano.

No empreendimento B, verificou-se que houve discreto aumento no consumo energético entre os KPI EPI do “Caso-Base” e o KPI EPI do Caso-Melhorado, os quais apresentaram em valores precisos, respectivamente, 39,13 kWh/m²/Ano e 39,23 kWh/m²/Ano.

O software arredondou ambos os valores para 40 kWh/m²/ano. No Gráfico de Energia do empreendimento B (Figura 22), na coluna KPI EPI do Caso-Melhorado, a única parcela que apresentou diminuição foi a “Iluminação”, esta questão será tratada mais adiante.

Figura 22 – Gráfico de “Energia” do empreendimento B.



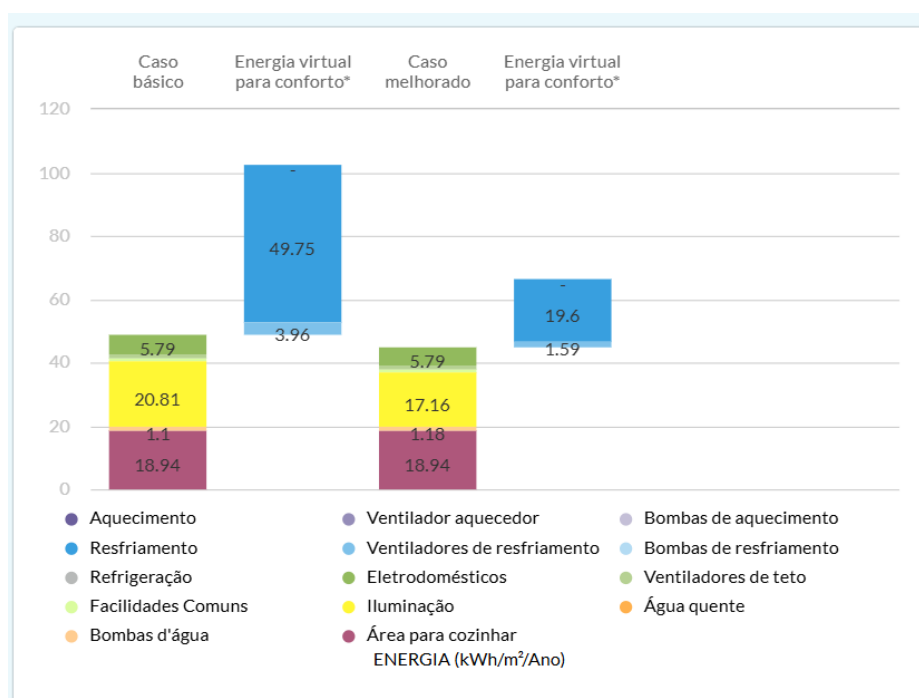
Fonte: Modificado de EDGE *app* (2025).

A fração de aumento nos KPIs supracitados para os empreendimentos A e B, está relacionado às parcelas “Água quente” e “Bombas d’água”. Na primeira, devido ao fato de os empreendimentos utilizarem chuveiro elétrico não eficiente, então ao assinalar a medida da categoria Energia EEM18*⁷⁵, notou-se o aumento de demanda de energética para o sistema de água quente doméstico. Já na parcela “Bombas d’água”, o comportamento está associado ao aumento de demanda de energia para bombas d’água quando se assinalaram as medidas de Água WEM01* (Chuveiros com eficiência hídrica) e WEM02* (Torneiras com eficiência hídrica para todos os banheiros), e se utilizaram equipamentos que previam alto fluxo de água.

No empreendimento C (Figura 23), verificou-se que as colunas que representavam o KPI EPI do “Caso-Base” e o KPI EPI do Caso-Melhorado se dividiram nas parcelas: Cozinha, Bombas d’água, Iluminação, Instalações comuns/técnicas, Ventiladores de teto, Eletrodomésticos. A parcela “água quente”, diferente dos outros empreendimentos não constou em nenhuma das colunas, visto que o empreendimento C não previu instalação de chuveiro elétrico.

⁷⁵ EEM18* - Sigla para Sistema de Água Quente Sanitária (AQS).

Figura 23 – Gráfico de “Energia” do empreendimento C.



Fonte: Modificado de EDGE *app* (2025).

O empreendimento C, no que se refere aos KPIs EPI do “Caso-Base” e do Caso-Melhorado apresentou os valores, respectivos de 49,03 kWh/m²/Ano e 45,46 kWh/m²/Ano. Tais valores o software EDGE aproximou para 50,00 kWh/m²/Ano e 45,00 kWh/m²/Ano. Nota-se, portanto, que houve redução na intensidade energética do empreendimento C. Esse comportamento pode estar associado ao fato de que, dentre as parcelas da coluna KPI EPI do Caso-Melhorado, verificou-se que a parcela “Bombas d’água” apresentou aumento em relação a coluna do KPI EPI do “Caso-Base”, já a parcela “Iluminação” apresentou baixa no consumo de energia compensando o efeito da parcela anterior, o que gerou benefícios em termos de intensidade energética.

Nos gráficos de Energia dos empreendimentos, quanto a participação das parcelas na demanda de energia dos Casos-Melhorados, destacam-se a seguir as que apresentaram prevalência:

- No empreendimento A, notou-se o alto consumo de energia direcionado, em ordem decrescente, para iluminação, Energia virtual (Energia para Resfriamento e Energia para ventiladores de resfriamento), cozinha e eletrodomésticos.
- Para o empreendimento B, o alto consumo energético para cozinha, iluminação, energia virtual e eletrodomésticos;
- Para o empreendimento C (Figura 23), o alto consumo de energia direcionado para, em ordem decrescente, energia virtual, cozinha, iluminação e eletrodomésticos.

No que se refere à parcela “Iluminação”, o alto consumo no empreendimento A pode ser correlacionado a não ocorrência de nenhuma estratégia diretamente voltada à economia de energia para iluminação neste empreendimento, diferente dos empreendimentos B e C que adotaram respectivamente, uma (EEM23) e duas estratégias (EEM23 e EEM24) para iluminação, obtendo melhoria neste sentido.

Quanto as parcelas “cozinha” e “eletrodomésticos”, os três empreendimentos não apresentaram medidas voltadas à economia para equipamentos de cozinha e eletrodomésticos, o que fizeram com que estas parcelas se mantivessem com valores iguais ao “Caso-Base”.

A prevalência das parcelas energia virtual, cozinha e iluminação permutando entre as primeiras colocações na demanda de energia das edificações simuladas, corrobora com a literatura.

No estudo de Teixeira e Lamberts (2020), os autores estudaram, o consumo energético de nove equipamentos no cenário brasileiro, e perceberam que a Região Norte se destaca pelo alto percentual de consumo para ar-condicionadores, refrigeradores e televisores. Com base no estudo dos autores supracitados, somou-se a parcela “ventiladores” à parcela “ar-condicionado”, e verificou-se a prevalência de consumo energético voltado para o conforto do usuário, logo em seguida refrigeradores.

Já o estudo de Abrahão e Souza (2021), apontou para a Região Norte, no ano de 2019, maior consumo energético direcionado para as categorias conservação de alimentos (freezer e geladeira), conforto térmico do usuário e equipamentos de serviços gerais (fritadeira, panela elétrica, etc.).

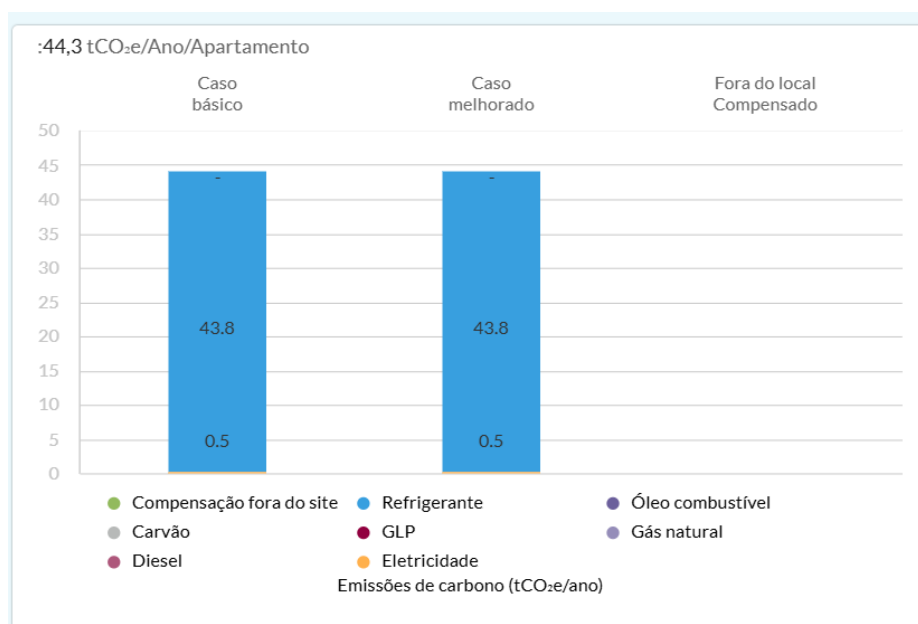
Isto corrobora com o gasto energético direcionado, neste trabalho, para as parcelas energia virtual e cozinha, nesta última inclui-se, segundo EDGE (2021) equipamentos para a conservação dos alimentos.

Destaca-se, portanto, a importância de trabalhar nas edificações MCMV estratégias que possam diminuir a necessidade de aparelhos mecanizados para a promoção de conforto térmico, ou seja, diminuir a demanda de energia virtual, assim como implementar soluções como lâmpadas eficientes e mecanismos de controle de luz, refrigerados e eletrodomésticos eficientes.

Outra questão se refere aos gráficos de emissões de CO₂ dos empreendimentos, gerados ao final das simulações. Nos empreendimentos A, B e C verificou-se que todos eles em seus Gráficos de “Emissões de Carbono” apresentaram as colunas tanto no “Caso-Base” quanto

no Caso-Melhorado, divididas em duas parcelas, elas foram eletricidade e gás refrigerante, como pode ser visualizado na Figura 24.

Figura 24 – Gráfico de “Emissões de Carbono” do empreendimento A.



Fonte: Modificado de EDGE *app* (2025).

Vale frisar que os combustíveis selecionados para todos os empreendimentos foram a eletricidade e o gás de cozinha, no entanto este último não se configurou como parcela constituinte das colunas nos gráficos de “Emissões de Carbono”. Acredita-se que este comportamento pode estar relacionado à unidade do gráfico que está em tCO₂e/ano, e que devido à taxa baixa de emissão relacionada ao gás de cozinha, nas edificações simuladas, não foi suficiente para serem apresentadas de forma gráfica. Marzouk (2023) exemplifica a questão de métrica que usa a unidade em tCO₂e e a dificuldade de expressar valores numéricos.

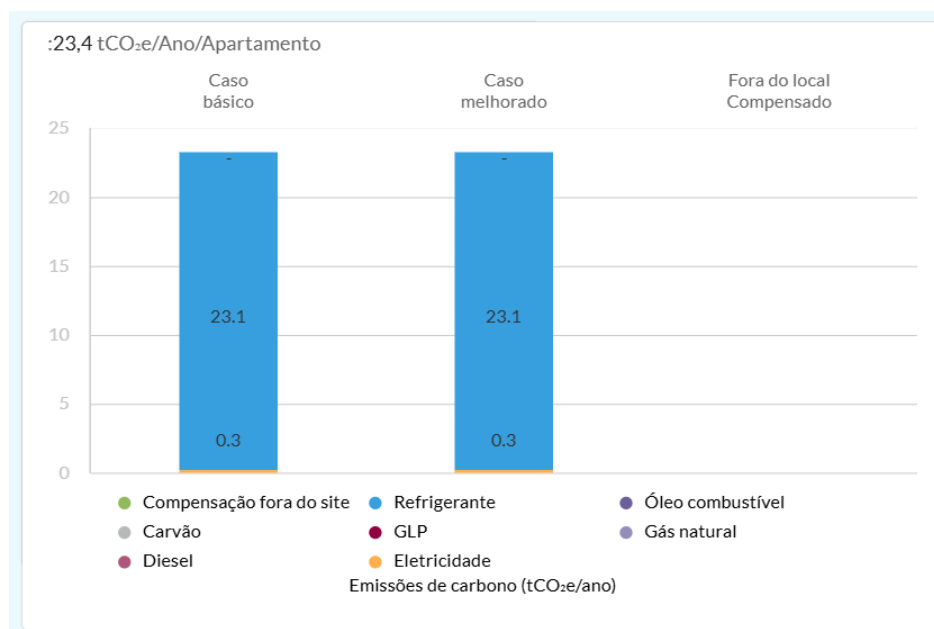
Referente a parcela “gás refrigerante”, visualizada nos gráficos de “Emissões de Carbono” dos empreendimentos A, B e C:

- Acredita-se que mesmo os empreendimentos apresentando ausência de sistema de climatização, houve a presença da parcela “gás refrigerante” devido à necessidade futura de mecanismos para o conforto, ou seja, a energia virtual;

- Notou-se entre os empreendimentos A, B e C, o comportamento diretamente proporcional entre a “Energia Virtual” e a parcela de “gás refrigerante”. Contextualizando, o empreendimento B (Figura 25) que apresentou menor demanda de energia virtual entre os três empreendimentos foi o que gerou menos emissões de CO₂ para o “gás refrigerante” no gráfico de “Emissões de Carbono”;

- Nos empreendimentos A, B e C, cada um deles manteve, entre o “Caso-Base” e o Caso-Melhorado, os mesmos valores nas parcelas “gás refrigerante”. De acordo com Marzouk (2023), este comportamento indica a falta de estratégias selecionadas que beneficiassem a redução de emissões relacionadas ao gás previsto nos sistemas de climatização das edificações.

Figura 25 – Gráfico de “Emissões de Carbono” do empreendimento B.



Fonte: Modificado de EDGE *app* (2025).

Quanto ao indicador pré-selecionado “Emissões operacionais finais de CO₂”, os empreendimentos A, B e C apresentaram, respectivamente, 0,04 tCO₂/mês/apartamento, 0,03 tCO₂/mês/apartamento e 0,03 tCO₂/mês/apartamento.

O KPI Emissões operacionais finais de CO₂ (tCO₂/mês/apartamento) é inserido ao gráfico de “Emissões de Carbono”, em sua unidade anual e em função de CO₂e (tCO₂e/ano/apartamento), transformando-se na parcela “Eletricidade” e, será destacado adiante o seu comportamento nos empreendimentos.

No Gráficos de “Emissões de Carbono” dos empreendimentos, a parcela “Eletricidade”, que se refere as emissões relacionadas ao uso da eletricidade, apresentou comportamento que se modificou ao longo das simulações. As medidas e/ou escolhas projetuais introduzidas no *software* EDGE, que guiaram esse comportamento foram Sistema AVAC, o campo “Água quente” na Seção “Uso de combustível”, ambos da Aba Projeto, e a medida WEM01* Chuveiros com eficiência hídrica, da Categoria “Água”. A seguir detalham-se os resultados na parcela “Eletricidade”, verificados ao modelar os empreendimentos:

- Em cada um, quando se assinalou a ausência de sistema de climatização (Aba Projeto), os empreendimentos A, B e C apresentaram a diminuição de CO₂ relacionado ao consumo de eletricidade;

- Quando se previu o uso de “Água Quente” (relacionado ao chuveiro elétrico) nos empreendimentos A e B, o empreendimento A apresentou aumento nas emissões de CO₂ relacionado ao consumo de eletricidade, já o empreendimento B não apresentou diferença nas emissões;

- Quando se assinalou a ausência do uso de “Água Quente” no empreendimento C, ele apresentou diminuição de CO₂ relacionado ao consumo de eletricidade;

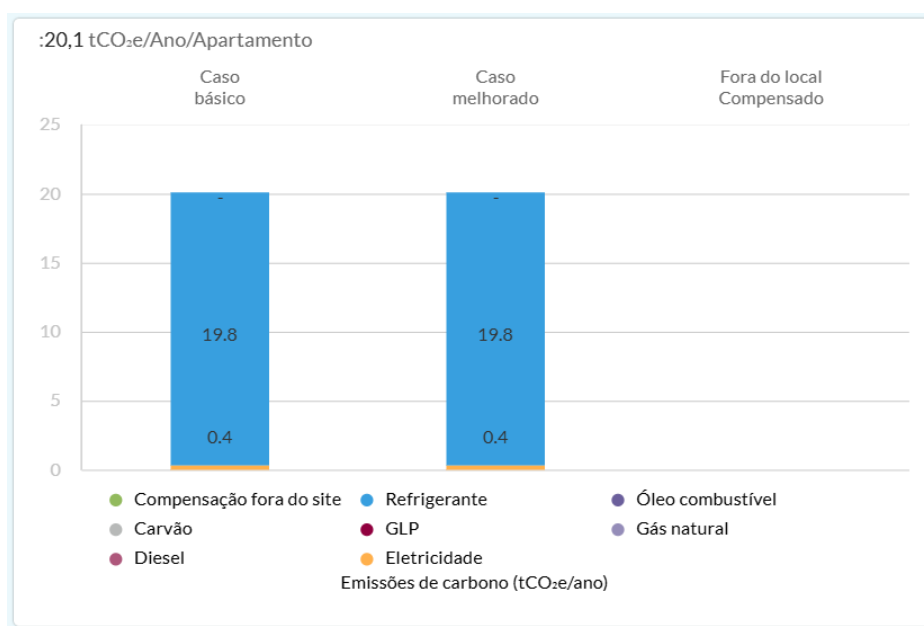
- Constatado o fato de que havia instalação para chuveiro elétrico nos empreendimentos A e B, mas foram entregues chuveiros comuns, preencheu-se a medida “Chuveiros com eficiência hídrica” (WEM01*) sem o componente “Água quente”, o que gerou para A e B diminuição das emissões de CO₂ relacionadas à eletricidade. Vale frisar que a medida WEM01*, não gera interferência relacionada às emissões no empreendimento C, visto que este não havia previsto o uso de água quente.

Notou-se outro comportamento, no entanto, relacionado ao indicador economia de CO₂ operacional. Os empreendimentos A e B não apresentaram economia de CO₂ operacional. Já o empreendimento C, apresentou uma economia de 8,44 tCO₂/ano, isto pode estar aliado a união dos dois fatores: a ausência de sistema de climatização e juntamente com a ausência de previsão de água quente (instalação para chuveiro elétrico). Diferente dos empreendimentos A e B, que previam a instalação de chuveiro elétrico e, conseqüentemente o uso de combustível direcionado para o aquecimento de água, gerando impacto nas emissões operacionais de CO₂ relacionadas ao uso de eletricidade.

No que se refere ao chuveiro elétrico, a tendência de redução na emissão de poluentes observado no empreendimento C (Figura 26) relacionada à ausência de previsão de “Água quente”, corrobora com o estudo de Taylor et al. (2023) que verificaram a grande parcela de contribuição do uso de chuveiro elétrico e cargas de plugue nas emissões de CO₂ operacional relacionado ao uso de energia.

Cabe ressaltar o descrito por EDGE (2024a) que alerta para a necessidade de prover água quente de forma eficiente, visto que isto impacta nas emissões e uso de combustível relacionado.

Figura 26 – Gráfico de “Emissões de Carbono” do empreendimento C.



Fonte: Modificado de EDGE *app* (2025).

Dado que a previsão de água quente, especificamente a utilização de chuveiro elétrico, é uma medida que promove o conforto para o usuário, assim como os sistemas de ar condicionado. Retoma-se, portanto, as recomendações de Abrahão e Souza (2021) que sugerem como medidas mitigatórias o uso de:

- Medidas para fornecer água quente com o uso de sistema de energia solar;
- A utilização de aparelhos ar condicionado com a tecnologia inverter. Em regiões em que haja a baixa posse desse aparelho, como verificado na Região Norte, mas existe alta demanda para o conforto térmico dos usuários, sugere-se promover políticas de incentivo ao desempenho térmico em habitações.

As parcelas dos Gráficos de “Emissões de Carbono” estão disponíveis na unidade tCO₂e/ano. Marzouk (2023) recomenda transformar os resultados desse indicador para a unidade em kgCO₂e/ano/m². Isto foi realizado para este trabalho, considerando para A, B e C, as respectivas áreas de cada unidade residencial (segundo a Metodologia EDGE), 46,4 m², 54,0 m² e 51,8 m². Obteve-se 954,74 kgCO₂e/ano/m² para o empreendimento A, 433,33 kgCO₂e/ano/m² para o empreendimento B e 389,96 kgCO₂e/ano/m² para o empreendimento C.

Reunindo as estratégias da categoria “Energia” verifica-se que elas retratam aspectos importantes, como: a importância do estudo do clima em que a edificação está inserida (estudo bioclimático); reconhecer que a envoltória da edificação interfere diretamente no desempenho energético e diante desta premissa trabalhar com materiais mais adequados para promover o conforto térmico dos usuários; a necessidade de trabalhar aspectos projetuais que possam

interferir diretamente no desempenho energético; a percepção de que a categoria “Energia” influenciou na categoria “Materiais”, retratando a necessidade de especificar materiais que equilibrem os atributos térmicos deles com o carbono incorporado dos mesmos.

Conclui-se que trabalhar aspectos relacionados à categoria “Energia”, na fase projetual, interfere positivamente nas emissões de CO₂ relacionadas a fase de operação das edificações. Além de que a adoção de estratégias que propiciem a melhoria no desempenho energético, pode colaborar para atingir alguns dos ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável), como destacam Santana et al. (2024) que associam as construções verdes ao atendimento de ODS.












4.2.3. Categoria Água





Todos os empreendimentos (A, B e C) apresentaram desempenho geral negativo na eficiência hídrica. Diante disso, o Quadro 13 destaca as medidas em que os empreendimentos tiveram comportamento negativo na categoria “Água” da Certificação EDGE, demonstrando os valores inseridos e os resultados obtidos.

Quadro 13 – O comportamento dos empreendimentos A, B e C nas estratégias construtivas da metodologia EDGE, da categoria “Água”, que produziram desempenho negativo.

Categoria “Água”			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Desempenho	- 32,14 % (negativo)	- 32,78 % (negativo)	- 33,69 % (negativo)
Nº de estratégias selecionadas	4 medidas, as quais são: WEM01* Chuveiros com eficiência hídrica; WEM02* Torneiras com eficiência hídrica para todos os banheiros; WEM04* Sanitários com economia hídrica em todos os banheiros; WEM08* Torneiras com economia hídrica para pias de cozinha.	4 medidas: WEM01*; WEM02*; WEM04*; WEM08*.	4 medidas: WEM01*; WEM02*; WEM04*; WEM08*.
Nº de estratégias com efeito negativo (em percentuais da categoria “Água”)	3 medidas	3 medidas	3 medidas

Categoria “Água”			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Medidas de eficiência hídrica que geraram efeito negativo em materiais	WEM01*, WEM02* e WEM08*	WEM01*, WEM02* e WEM08*	WEM01*, WEM02* e WEM08*
Medida	WEM01* Chuveiros com eficiência hídrica	WEM01* Chuveiros com eficiência hídrica	WEM01* Chuveiros com eficiência hídrica
Valor do “Caso-Base”	12 L/min	12 L/min	12 L/min
Valor inserido	15 L/min Sem banheira Sem fornecimento de água quente	15 L/min Sem banheira Sem fornecimento de água quente	15 L/min Sem banheira Sem fornecimento de água quente
Resultado	<p>Água</p> <p>Impacto negativo de – 13,38 % em água:</p> <p>↑ Maior consumo de água para chuveiros.</p> <p>Energia</p> <p>Melhoria de 7,02 % em energia</p> <p>Energia – Gráfico de Energia (Consumo)</p> <p>↑ Mais energia para bombas d’água</p> <p>↓ Diminuição geral de energia para água quente</p> <p>Energia – Gráfico de Emissões de carbono</p> <p>↓ Diminuição geral nas emissões de CO2 relacionado à eletricidade</p>	<p>Água</p> <p>Impacto negativo de – 13,72 % em água</p> <p>↑ Maior consumo de água para chuveiros.</p> <p>Energia</p> <p>Melhoria de 12,18 % em energia</p> <p>Energia – Gráfico de Energia (Consumo)</p> <p>↑ Mais energia para bombas d’água</p> <p>↓ Diminuição geral de energia para água quente</p> <p>Energia – Gráfico de Emissões de carbono</p> <p>↓ Diminuição geral nas emissões de CO2 relacionado à eletricidade</p>	<p>Água</p> <p>Impacto negativo de – 14,19 % em água:</p> <p>↑ Maior consumo de água para chuveiros.</p> <p>Energia</p> <p>Impacto negativo de – 0,04 % na energia:</p> <p>Energia – Gráfico de Energia (Consumo)</p> <p>↑ Mais energia para bombas d’água</p>
Medida	WEM02* Torneiras com eficiência hídrica para todos os banheiros	WEM02* Torneiras com eficiência hídrica para todos os banheiros	WEM02* Torneiras com eficiência hídrica para todos os banheiros
Valor do “Caso-Base”	8 L/min	8 L/min	8 L/min
Valor inserido	20 L/min	20 L/min	20 L/min

Categoria “Água”			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
	Sem fornecimento de água quente Tipo: Torneiras com arejadores (caso mais básico)	Sem fornecimento de água quente Tipo: Torneiras com arejadores (caso mais básico)	Sem fornecimento de água quente Tipo: Torneiras com arejadores (caso mais básico)
Resultado	<p>Água Queda de – 17,84 % em água:  Maior consumo de água para lavatórios</p> <p>Energia Melhoria de 0,28 % em energia: Energia – Gráfico de Energia (Consumo)  Mais energia para bombas d’água  Diminuição geral de energia para água quente</p>	<p>Água Queda de – 18,28 % em água:  Maior consumo de água para lavatórios</p> <p>Energia Melhoria de 0,52 % em energia: Energia – Gráfico de Energia (Consumo)  Mais energia para bombas d’água  Diminuição geral de energia para água quente.</p>	<p>Água Queda de – 18,92 % na água:  Maior consumo de água para lavatórios</p> <p>Energia Queda de – 0,04 % na energia: Energia – Gráfico de Energia (Consumo)  Mais energia para bombas d’água.</p>
Medida	WEM08* Torneiras com economia hídrica para pias de cozinha	WEM08* Torneiras com economia hídrica para pias de cozinha	WEM08* Torneiras com economia hídrica para pias de cozinha
Valor do “Caso-Base”	10 L/min	10 L/min	10 L/min
Valor inserido	12 L/min Sem fornecimento de água quente	12 L/min Sem fornecimento de água quente	12 L/min Sem fornecimento de água quente
Resultado	<p>Água Queda de – 0,92 % em água:  Maior consumo de água para a cozinha</p> <p>Energia Aumento de + 0,12 % em energia:</p>	<p>Água Queda de – 0,78 % em água:  Maior consumo de água para a cozinha</p> <p>Energia Aumento de 0,20 % em energia</p>	<p>Água Queda de – 0,58 % na água:  Maior consumo de água para a cozinha</p> <p>Energia Queda de – 0,01 % em energia (Mudanças em frações na energia, não</p>

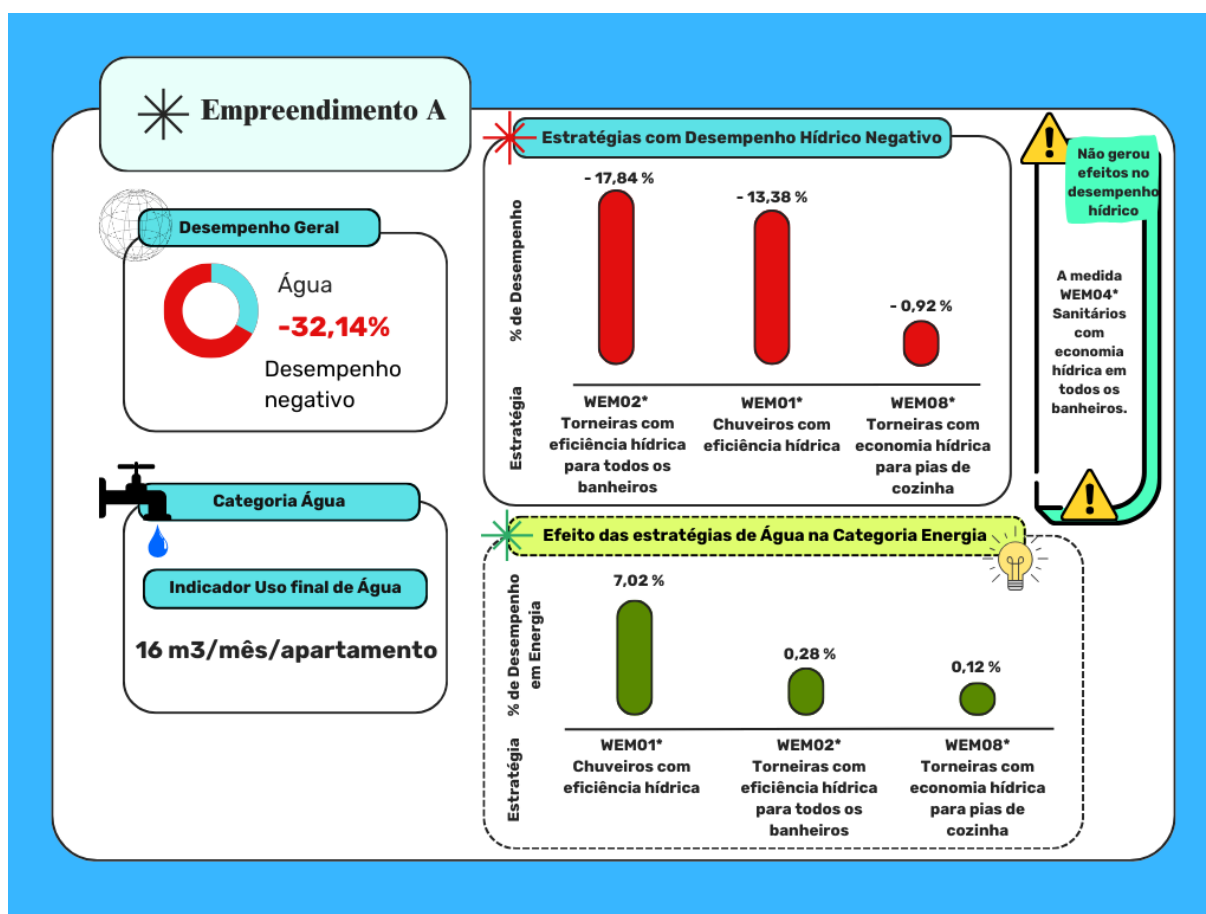
Categoria “Água”			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
	Energia – Gráfico de Energia (Consumo)  Diminuição geral de energia para água quente.	Energia – Gráfico de Energia (Consumo)  Diminuição geral de energia para água quente.	refletiram em mudanças nos gráficos de energia) Na Barra de Resultados , os KPI’S demonstraram:  Maior consumo anual de água  Aumento da emissão de CO ₂ operacional, por ano. Na análise, isto foi relacionado ao aumento no consumo de energia para bombas d’água .

Fonte: Autora (2025).

As diretrizes construtivas da Norma NBR 15220-3 não se aplicam na categoria “Água” da certificação EDGE, apenas as recomendações da Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b).

Nos três empreendimentos houve a utilização de chuveiros que impactaram a eficiência hídrica fato relacionado a taxa de fluxo deles. O valor do “Caso-Base” coincide com o preconizado pela Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b), que limita a vazão da ducha a 12 L/min (na pressão de 30 m.c.a). No entanto, na medida WEM01*, os chuveiros instalados nos empreendimentos (Caso-Aprimorado) apresentaram taxa de fluxo maior que o “Caso-Base”, além de que não apresentavam mecanismos redutores de vazão recomendados também na Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b), gerando maior demanda de água. Este comportamento gerado pela medida WEM01* pode ser visualizado na Figura 27, para o empreendimento A.

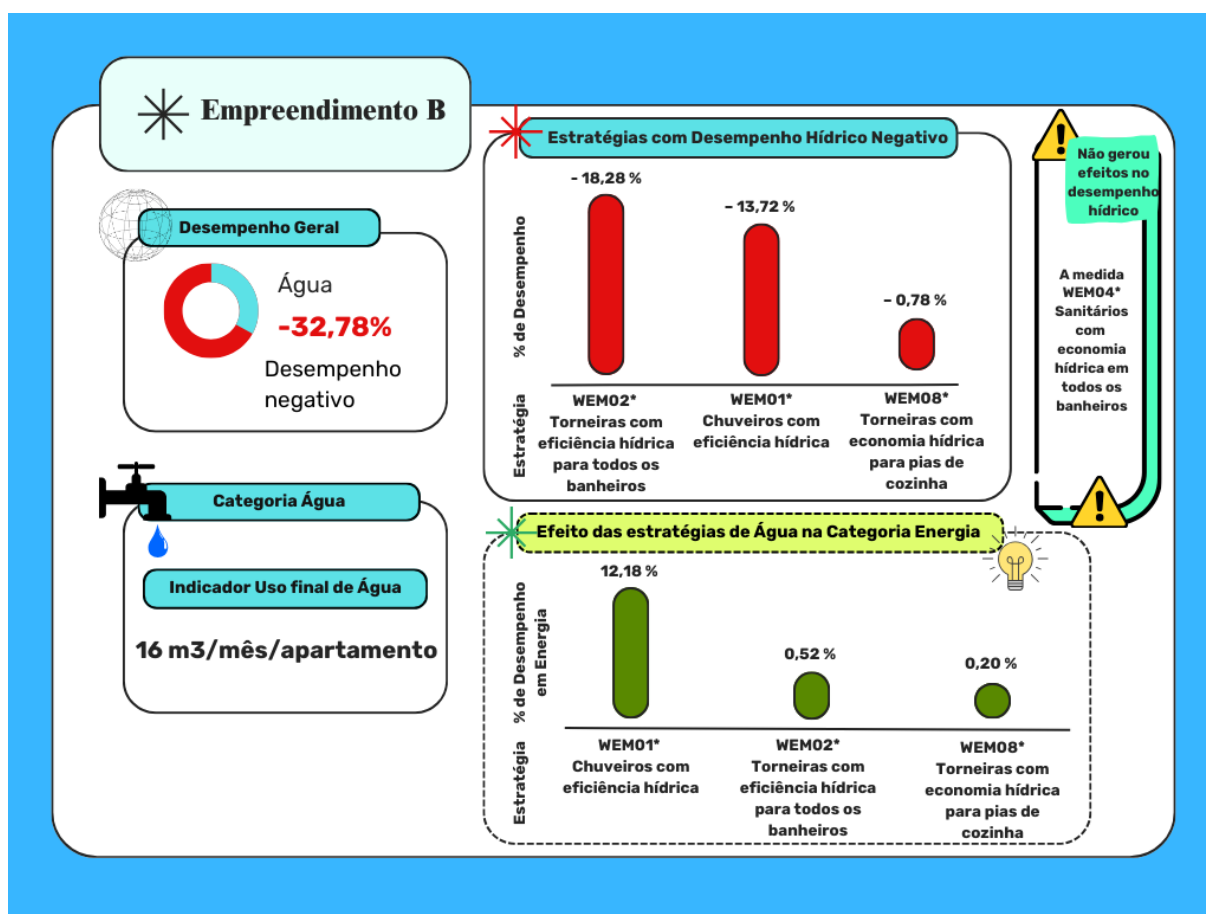
Figura 27 – Dashboard do desempenho hídrico do Empreendimento A.



Fonte: Autora (2025).

Ainda na medida WEM01* da categoria Água, três situações foram verificadas em relação à categoria “Energia”:

- Ocorreu a melhoria do desempenho energético nos empreendimentos A e B. É importante frisar que em A e B constava a instalação para chuveiro elétrico, no entanto, foram instalados chuveiros comuns que não fornecem água quente. Diante disso, quanto aos chuveiros instalados, eles apresentavam maior taxa de fluxo, o que causou aumento de consumo de energia para bombas d’água. Porém, este aumento foi compensado pela ausência de chuveiros elétricos instalados, o que gerou benefícios em energia, primeiramente no gráfico de “Energia”, pois diminuiu o consumo para água quente que havia sido previsto. Outro benefício gerado, foi a redução das emissões de carbono, consequência do menor consumo de eletricidade. Portanto, a troca por chuveiros comuns nos empreendimentos A e B gerou benefícios. Este comportamento pode ser visualizado na Figura 28, e é destacado na seção “Efeitos das Estratégias de Água na Categoria Energia”;

Figura 28 – *Dashboard* do desempenho hídrico do Empreendimento B.

Fonte: Autora (2025).

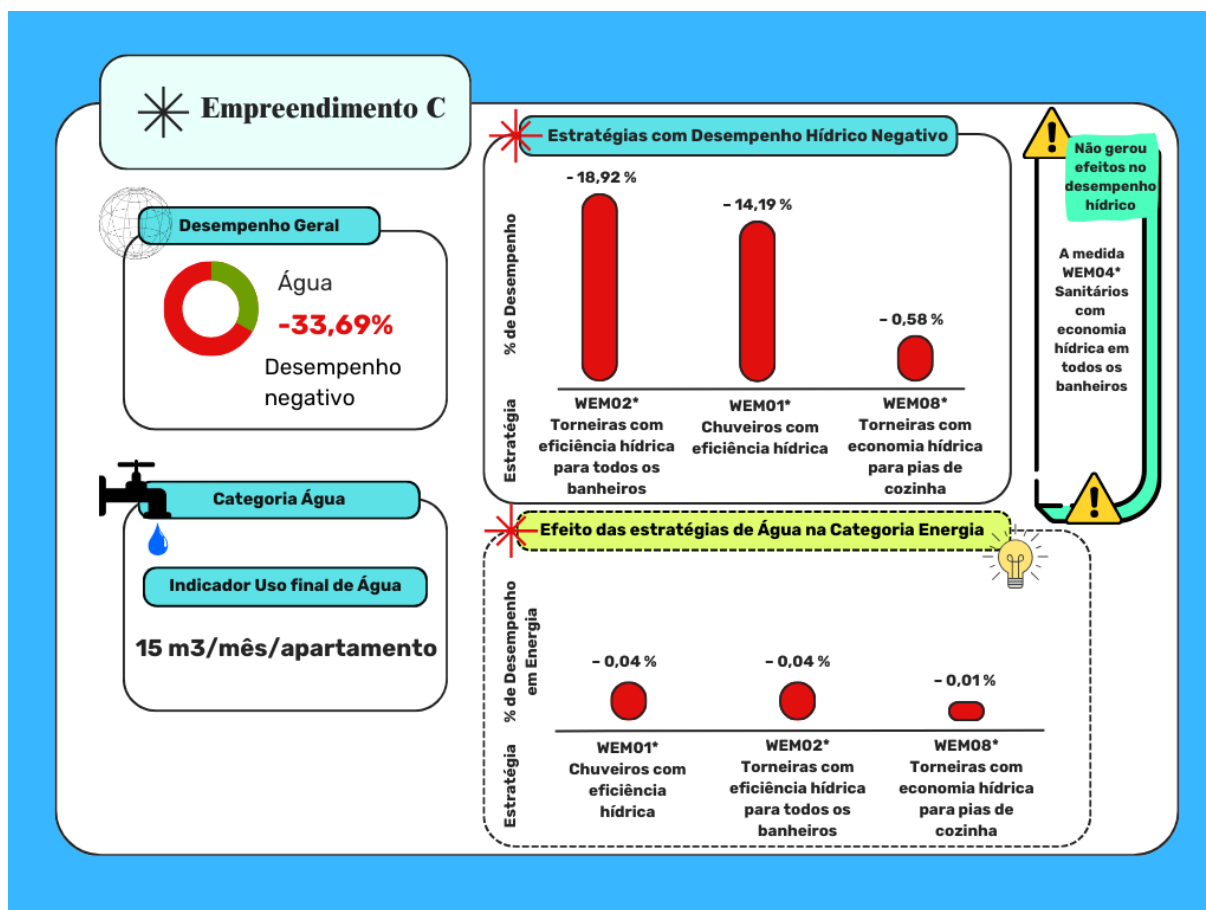
- Ainda no âmbito citado anteriormente, mas no que se refere ao gráfico “Emissões de Carbono” dos empreendimentos A e B, a redução nas emissões de CO₂ devido à instalação de chuveiros comuns não foi suficiente para gerar economia de CO₂ operacional, visto que os empreendimentos contam com a instalação para chuveiro elétrico (Seção “Uso de Combustível”, Aba Projeto), portanto o combustível “Eletricidade” entra no cálculo de emissões de CO₂, além de que não foi utilizada nenhuma estratégia de redução de CO₂ nestes empreendimentos;

- Houve pequena fração de impacto negativo no desempenho energético do empreendimento C. Isto foi relacionado ao aumento de energia necessária para bombas d’água gerado pelo maior fluxo dos chuveiros. Este aumento não foi compensado por diminuição no consumo de energia para água quente, pois este empreendimento não previa instalação para chuveiro elétrico. A figura 29 apresenta este comportamento no empreendimento C.

Quanto ao fluxo de água em torneiras de lavatórios, a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) limita a 4 L/min e preconiza o uso de arejadores integrados ou restritores de vazão. Na medida WEM02* (Torneiras com eficiência hídrica para todos os banheiros) o “Caso-Base”

era de 8 l/min. No entanto, em todos os empreendimentos, houve a utilização de torneiras com alto fluxo de água a 30 m.c.a., no valor de 20 l/min, e sem mecanismos que interferissem na vazão, o que gerou impacto negativo na categoria “Água”, visto que demandaram maior consumo de água em lavatórios.

Figura 29 – Dashboard do desempenho hídrico do Empreendimento C.



Fonte: Autora (2025).

Ainda na medida WEM02*, houve impacto na categoria “Energia”, situação destacada nos pontos a seguir:

- Os empreendimentos A e B tiveram comportamento similar, pois neles havia previsão de “uso de combustível para água quente” por meio da eletricidade. Como as torneiras instaladas não fornecem água quente, no gráfico de “Energia” diminuíram o consumo de energia para o aquecimento da água. Concomitantemente, houve maior energia empregue para bombas d'água devido ao alto fluxo das torneiras, no entanto foi compensado pela diminuição anterior, gerando desempenho positivo no desempenho energético;

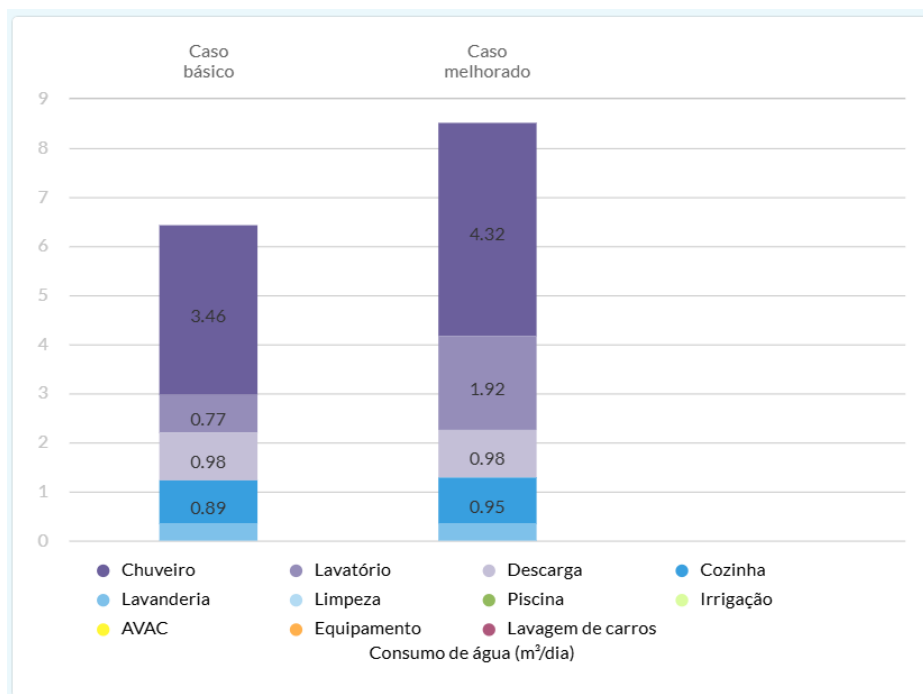
- Já o Empreendimento C por não haver previsão de água quente, o alto fluxo das torneiras foi o fator determinante, situação que gerou maior consumo de energia para bombas d'água e refletiu em impacto negativo no desempenho energético.

Quanto ao consumo hídrico dos equipamentos de descargas, a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) preconiza o uso de bacia sanitária com duplo acionamento e limite de 9 L/min de fluxo de descarga. No EDGE, o “Caso-Base” é ainda mais rigoroso delimitando o valor de 6 L/min para isto.

Na medida WEM04* (Sanitários com economia hídrica em todos os banheiros) os três empreendimentos utilizaram equipamentos sanitários com taxa de 6 L/min, como era igual a taxa de fluxo do “Caso-Base”, não foram gerados efeitos positivos ou negativos no desempenho hídrico.

Para as torneiras de cozinha, a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) delimita a taxa de fluxo de 6 L/min e também preconiza o uso de mecanismos redutores de vazão. Na medida WEM08*, em todos os empreendimentos, o “Caso-Base” apresentava 10 L/min de taxa de fluxo, enquanto que as torneiras instaladas apresentaram 12 L/min e, não continham ou arejadores ou restritores de vazão na tubulação. Tal configuração e escolhas produziram pequeno impacto negativo na economia hídrica em A, B e C, fato relacionado a maior demanda de água para a cozinha. Este comportamento pode ser visualizado no gráfico de “Consumo de Água” do empreendimento A (Figura 30), na parcela “Cozinha”.

Figura 30 – Gráfico de “Consumo de Água” do empreendimento A.



Fonte: Modificado de EDGE *app* (2025).

No que se refere à categoria Energia, após o preenchimento da medida WEM08*, A e B tiveram comportamento similar com melhoria no desempenho energético, devido a dois aspectos:

- Não apresentaram parcela de energia para “bombas d’água”, ou seja, o fluxo das torneiras utilizadas não foi suficiente para demandar mais energia para este item;
- A utilização de torneiras comuns, ou seja, sem o uso de água quente, gerou menos energia direcionada para o aquecimento da água.

Já o empreendimento C apresentou impacto negativo no desempenho energético após o preenchimento da medida WEM08*, no entanto como impacto foi em frações e devido a magnitude não refletiu em mudanças em nenhum dos gráficos da categoria Energia (gráficos “Energia” e “Emissões de Carbono”). Diante disso, a análise deste comportamento seguiu da seguinte forma:

- Com base na Barra de Resultados, identificaram-se os KPI’s que tiveram modificação com a estratégia WEM08* no empreendimento C, eles são: Custo Final de serviços públicos; Economia de água; Economia de CO₂ Operacional; Economia de custos de serviços públicos; Custo incremental; Aumento no custo e Prazo de recuperação do investimento;

- Os comportamentos dos KPI’s foram, respectivamente: maior custo mensal com serviços públicos (uso de água e energia); maior consumo anual de água; aumento da emissão de CO₂ operacional, por ano; aumentou o gasto anual com serviços públicos (uso de água e energia); maior custo para a construção dos apartamentos com as estratégias já selecionadas; maior % de custo incremental; maior tempo para o retorno financeiro;

- Com base no comportamento dos KPI’s e a ausência de modificação no KPI “Economia de energia”, dado em MWh/ano, o qual indicaria alguma alteração no consumo anual em energia, notou-se que o que conduziu todos os comportamentos dos KPI’s supracitados foi o maior consumo de água das torneiras, o que impactou no aumento da emissão de CO₂ operacional (citado no Quadro 13). Este último fato pode estar relacionado ao consumo de energia para bombas d’água;

- Com base no comportamento das medidas WEM01* e WEM02* para o empreendimento C, notou-se que na categoria “Energia” o impacto negativo sempre ocorreu em frações e relacionado ao aumento do uso de energia para bombas d’água (gráfico de “Energia”), corroborando com o descrito no item anterior. Portanto, permaneceria uma tendência de impacto negativo no resultado da medida WEM08* também, que pelo fato de ter sido em frações ainda menores que nas medidas anteriores não foi suficiente para promover o

aumento do consumo de energia para bombas d'água e modificar os gráficos da categoria “Energia” (gráficos “Energia” e “Emissões de Carbono”).

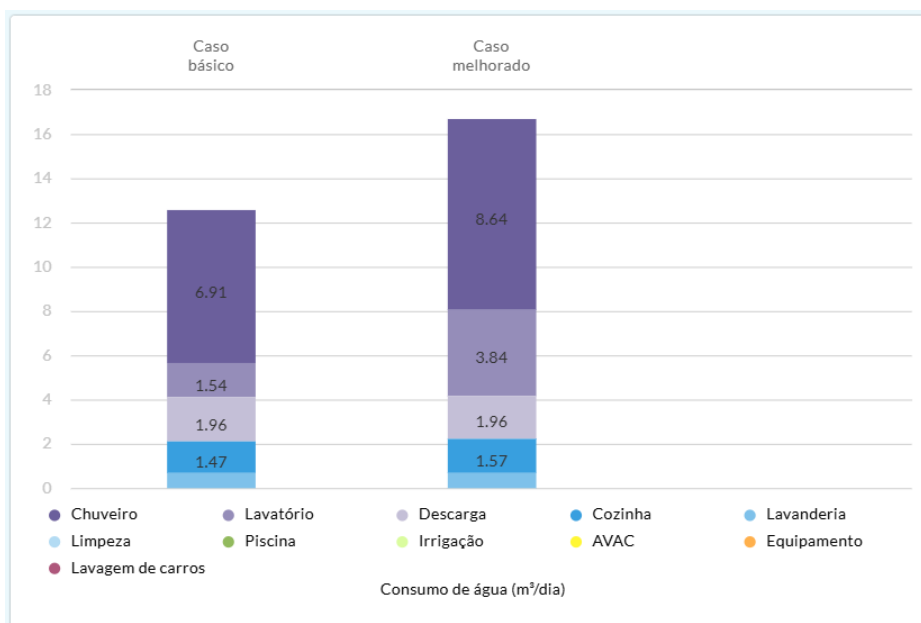
O indicador pré-selecionado para o estudo dessa categoria é o Uso final de Água ($\text{m}^3/\text{mês}/\text{apartamento}$), nele pode-se verificar que os empreendimentos A e B apresentaram igual resultado, $16 \text{ m}^3/\text{mês}/\text{apartamento}$, já o empreendimento C apresentou $15 \text{ m}^3/\text{mês}/\text{apartamento}$.

Transformando o indicador “Uso final de Água” em função da área de cada apartamento em cada empreendimento (segundo a Metodologia EDGE) e na unidade anual, obtém-se os seguintes valores, para A, B e C, respectivamente, $4,14 \text{ m}^3/\text{Ano}/\text{m}^2$, $3,55 \text{ m}^3/\text{Ano}/\text{m}^2$ e $3,47 \text{ m}^3/\text{Ano}/\text{m}^2$. No entanto, como descrito por Taylor et al. (2023) a unidade em função de metro quadrado pode beneficiar uma construção que tenha área construída maior, gerando nela índices menores de consumo.

Os gráficos de consumo hídrico apresentam-se na unidade m^3/dia , eles apresentam uma coluna para “Caso-Base” e outra para o “Caso-Aprimorado”. Ao final da simulação, os gráficos supracitados corroboraram as questões descritas no decorrer deste item. Nos empreendimentos A, B e C, notou-se os comportamentos similares, eles foram:

- No gráfico de consumo hídrico para o “Caso-Aprimorado”, tem-se as seguintes parcelas em ordem decrescente de magnitude Chuveiro, Lavatório, Descarga, Cozinha, Lavanderia. Comportamento que pode ser verificado na Figura 31 (Referente ao empreendimento B);

Figura 31 – Gráfico de “Consumo de Água” do empreendimento B.

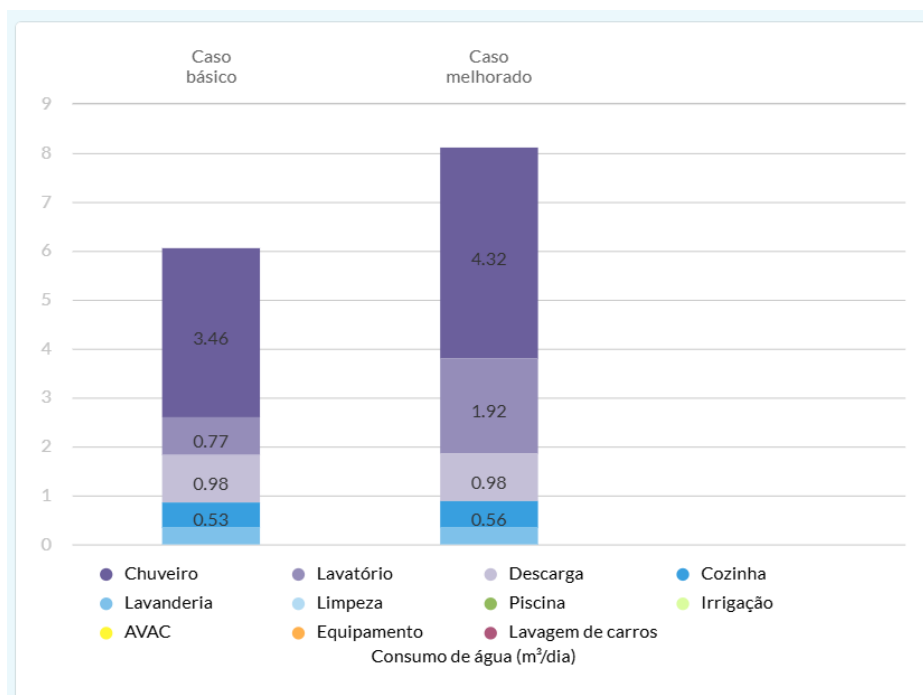


Fonte: Modificado de EDGE *app* (2025).

- Houve igual desempenho do “Caso-Base” e do “Caso-Aprimorado” para as parcelas lavanderia e descarga, ou seja, os valores de taxa de fluxo dos equipamentos utilizados não geraram benefícios nem malefícios, corresponderam ao “Caso-Base”;

- Já os chuveiros, as torneiras de lavatório e as torneiras de cozinha instalados geraram piora no desempenho hídrico do “Caso-Aprimorado”, sendo importante intervir nestes. Comportamento que pode ser verificado na Figura 32 (Referente ao empreendimento C).

Figura 32 – Gráfico de “Consumo de Água” do empreendimento C.



Fonte: Modificado de EDGE *app* (2025).

Pode-se notar que a taxa de fluxo foi um fator determinante na eficiência hídrica tanto para chuveiros quanto para torneiras, situação que pode ser solucionada com medidas sugeridas na literatura e nas normativas, como o uso de mecanismos economizadores de água, recomendado na Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) e, substituição de torneiras (Barberán et al., 2013) e chuveiros.

Quanto a descarga de aparelhos sanitários, não foi gerado fator negativo na eficiência hídrica, pois os três empreendimentos utilizaram aparelhos com descarga de baixo fluxo, valor coerente com o utilizado no estudo de Sousa, Silva e Meireles (2019) e de acordo com o “Caso-Base”.

A categoria “Água” demonstrou a necessidade de trabalhar medidas projetuais que possam beneficiar a eficiência hídrica. Nesse cenário, corrobora-se com a literatura, no que se refere:

- Ao intenso consumo hídrico nas edificações (Flores; Ghisi, 2022) e falta de responsabilidade no uso desse recurso (Magalhães et al., 2024);

- A importância do papel do projetista em aspectos que colaboram na busca de uma edificação verde, pois ele pode influenciar na implementação de sistemas de reciclagem e coleta de água da chuva e, mecanismos que diminuam a demanda (DfGE, 2025).

Vale frisar que esse estudo está inserido em uma região em que há grande importância global na preservação dos recursos. O recurso “água” deve ser tratado com a devida importância e, é relevante um olhar holístico para isto. Desde a pegada hídrica em materiais utilizados na construção (Dixit; Kumar; Haghighi, 2022; Hossenian; Nezamoleslami, 2018), passando pela água consumida nos canteiros de obra (Sharma; Chani, 2024), até o consumo nas edificações (Flores; Ghisi, 2022).

Ao finalizar esta medida como os empreendimentos não apresentavam nenhuma das outras medidas de água, e seguiu-se para a “Categoria Materiais”.






4.2.4. Categoria Materiais







O Quadro 14 apresenta as medidas, entradas e os resultados obtidos para as medidas que beneficiaram positivamente a categoria “Materiais”.






Quadro 14 – O comportamento dos empreendimentos A, B e C nas estratégias construtivas da metodologia EDGE, da categoria Materiais, que produziram desempenho positivo.







Categoria “Materiais”						
Empreendimento	Empreendimento A		Empreendimento B		Empreendimento C	
Desempenho	51.00 % (positivo)		72.00 % (positivo)		58.00 % (positivo)	
Nº de estratégias selecionadas	11 medidas: MEM01*, MEM02*, MEM03*, MEM04*, MEM05*, MEM06*, MEM07*, MEM08*, MEM09*, MEM10* e MEM11*		11 medidas: MEM01*, MEM02*, MEM03*, MEM04*, MEM05*, MEM06*, MEM07*, MEM08*, MEM09*, MEM10*e MEM11*		11 medidas: MEM01*, MEM02*, MEM03*, MEM04*, MEM05*, MEM06*, MEM07*, MEM08*, MEM09*, MEM10*e MEM11*	
Nº de estratégias com efeito positivo (em percentuais da categoria)	7 medidas		7 medidas		7 medidas	
Medidas de eficiência em materiais que geraram efeito positivo (em	MEM01*, MEM02*, MEM03*, MEM04*, MEM05*, MEM08* e MEM11*.		MEM01*, MEM02*, MEM03*, MEM04*, MEM05*, MEM06* e MEM08*		MEM01*, MEM02*, MEM03*, MEM04*, MEM05*, MEM06* e MEM08*	

Categoria “Materiais”			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
percentuais da categoria)			
Medida	MEM01* Construção do piso inferior	MEM01* Construção do piso inferior	MEM01* Construção do piso inferior
Material do “Caso-Base”	Laje de concreto armado convencional, no local Espessura: 100 mm Taxa de aço: 35 kg/m ²	Laje de concreto armado convencional, no local Espessura: 100 mm Taxa de aço: 35 kg/m ²	Laje de concreto armado convencional, no local Espessura: 100 mm Taxa de aço: 35 kg/m ²
Material inserido (Caso-Aprimorado)	Laje de concreto com enchimento de blocos de poliestireno Espessura: 150 mm Taxa de aço: 8,69 kg/m ² Valor U = 1,27 W/m ² .K (campo não editável, se refere ao valor de U da laje térrea, inserido na EEM06* de Energia)	Laje de concreto com enchimento de blocos de poliestireno Espessura: 120 mm Taxa de aço: 1,92 kg/m ² Valor U = 1,80 W/m ² .K (campo não editável, se refere ao valor de U da laje térrea, inserido na EEM06* de Energia)	Laje de concreto armado convencional, no local Espessura: 80 mm Taxa de aço: 4,19 kg/m ² Valor U = 3,74 W/m ² .K (campo não editável, se refere ao valor de U da laje térrea, inserido na EEM06* de Energia)
Resultado	Materiais Melhoria de 6.00 % em materiais:  Menos carbono embutido no piso inferior	Materiais Melhoria em materiais de 9.00 %  Menos carbono embutido no piso inferior	Materiais Melhoria em materiais de 8 %  Menos carbono embutido no piso inferior
Medida	MEM02* Construção de piso intermediário	MEM02* Construção de piso intermediário	MEM02* Construção de piso intermediário
Material do “Caso-Base”	Laje de concreto armado convencional, no local Espessura: 250 mm Taxa de aço: 35 kg/m ²	Laje de concreto armado convencional, no local Espessura: 250 mm Taxa de aço: 35 kg/m ²	Laje de concreto armado convencional, no local Espessura: 250 mm Taxa de aço: 35 kg/m ²
Material inserido (Caso-Aprimorado)	Laje de concreto com enchimento de blocos de poliestireno Espessura: 150 mm Taxa de aço: 8,69 kg/m ²	Laje de concreto com enchimento de blocos de poliestireno Espessura: 120 mm Taxa de aço: 1,92 kg/m ²	Laje de concreto armado convencional, no local Espessura: 80 mm Taxa de aço: 4,19 kg/m ²

Categoria “Materiais”			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Resultado	Materiais Melhoria de 28 % em materiais:  Menos carbono embutido no piso intermediário	Materiais Melhoria de 36 % em Materiais:  Menos carbono embutido no piso intermediário	Materiais Melhoria de 32 % em materiais  Menos carbono embutido no piso intermediário
Medida	MEM03* Acabamento do piso	MEM03* Acabamento do piso	MEM03* Acabamento do piso
Material do “Caso-Base”	Azulejo/Revestimentos cerâmicos Espessura: 10 mm	Azulejo/ Revestimentos cerâmicos Espessura: 10 mm	Azulejo/ Revestimentos cerâmicos Espessura: 10 mm
Material inserido (Caso-Aprimorado)	Azulejo/Revestimentos cerâmicos Espessura: 7 mm	Azulejo/Revestimentos cerâmicos Espessura: 6,8 mm	Azulejo/Revestimentos cerâmicos Espessura: 6,4 mm
Resultado	Materiais Melhorou 1 % em materiais:  Menos carbono embutido no acabamento do piso	Materiais Melhorou 1 % em materiais:  Menos carbono embutido no acabamento do piso	Materiais Melhorou 1 % em materiais:  Menos carbono embutido no acabamento do piso
	MEM04* Construção do telhado	MEM04* Construção do telhado	MEM04* Construção do telhado
Material do “Caso-Base”	Laje de concreto armado convencional, no local Espessura: 250 mm Taxa de aço: 35 kg/m ²	Laje de concreto armado convencional, no local Espessura: 250 mm Taxa de aço: 35 kg/m ²	Laje de concreto armado convencional, no local Espessura: 250 mm Taxa de aço: 35 kg/m ²
Material inserido (Caso-Aprimorado)	Laje de concreto com enchimento de blocos de poliestireno Espessura**: 150 mm (**a espessura se refere apenas à laje de cobertura) Taxa de aço: 8,69 kg/m ² Valor U = 0,88 W/m ² .K	Laje de concreto com enchimento de blocos de poliestireno Espessura**: 120 mm Taxa de aço: 1,92 kg/m ² Valor U = 1,10 W/m ² .K (este valor U se refere ao conjunto isolamento do	Laje de concreto armado convencional, no local Espessura**: 80 mm Taxa de aço: 4,21 kg/m ² Valor U = 2,57 W/m ² .K (este valor U se refere ao conjunto isolamento do telhado, incluindo a laje superior)

Categoria “Materiais”			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
	(este valor U se refere ao conjunto isolamento do telhado, incluindo a laje superior)	telhado, incluindo a laje superior)	
Resultado	Materiais Melhorou 10 % em materiais  Menos carbono embutido na cobertura	Materiais Melhorou 13 % em materiais  Menos carbono embutido na cobertura	Materiais Melhorou 12 % em materiais  Menos carbono embutido na cobertura
Medida	MEM05* Paredes externas	MEM05* Paredes externas	MEM05* Paredes externas
Material do “Caso-Base”	Parede de tijolo maciço (0 - 25% de vazios) com reboco interno e externo Espessura: 150 mm Valor U = 2,48 W/m².K (Valor que aparece antes de entrar com os dados do projeto)	Parede de tijolo maciço (0 - 25% de vazios) com reboco interno e externo Espessura: 150 mm Valor U = 1,85 W/m².K (Valor que aparece antes de entrar com os dados do projeto)	Parede de tijolo maciço (0 - 25% de vazios) com reboco interno e externo Espessura: 150 mm Valor U = 2,54 W/m².K (Valor que aparece antes de entrar com os dados do projeto)
Material inserido (Caso-Aprimorado)	Muro de concreto armado Espessura: 200 mm Valor U = 2,49 W/m².K (campo não editável) Carbono embutido = 87,00 kgCO ₂ e/m² (EDGE, 2024c)	Blocos ocos de concreto, de peso médio Espessura: 140 mm Valor U = 1,86 W/m².K (campo não editável) Carbono embutido = 71 – 82 kgCO ₂ e/m² (EDGE, 2024c)	Muro de concreto armado Espessura: 200 mm (Espessura mínima) Valor U = 2,54 W/m².K (campo não editável) Carbono embutido = 87 kgCO ₂ e/m² (EDGE, 2024c)
Resultado	Materiais Melhorou 8 % em materiais  Menos carbono embutido nas paredes externas Energia	Materiais Melhoria de 12 % em materiais:  Menos carbono embutido nas paredes externas Energia	Materiais Melhorou 6 % em materiais  Menos carbono embutido nas paredes externas

Categoria “Materiais”			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
	Sem mudança nos percentuais de energia, mas mudanças no gráfico Energia – Gráfico de Energia (Consumo)  Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento	Sem mudança nos percentuais de energia, mas mudanças no gráfico Energia – Gráfico de Energia (Consumo)  Menos energia virtual para ventiladores de resfriamento	
Medida	MEM06* Paredes internas	MEM06* Paredes internas	MEM06* Paredes internas
Material do “Caso-Base”	Parede de tijolo maciço (0 - 25% de vazios) com gesso interno e externo Espessura: 100 mm	Parede de tijolo maciço (0 - 25% de vazios) com gesso interno e externo Espessura: 100 mm	Parede de tijolo maciço (0 - 25% de vazios) com gesso interno e externo Espessura: 100 mm
Material inserido (Caso-Aprimorado)	Muro de concreto armado Espessura: 140 mm Carbono embutido = 49 – 60 kgCO ₂ e/m ²	Blocos ocos de concreto, de peso médio Espessura: 140 mm Carbono embutido = 32 – 37 kgCO ₂ e/m ²	Muro de concreto armado Espessura: 140 mm Carbono embutido = 49 – 60 kgCO ₂ e/m ²
Resultado	Materiais Sem mudanças nos percentuais Mas mudanças no gráfico de Carbono embutido:  Menos carbono embutido nas paredes internas	Materiais Melhoria de 3% em materiais  Menos carbono embutido nas paredes internas	Materiais Melhorou 1 % em materiais  Menos carbono embutido nas paredes internas
Medida	MEM08* Vidros de Janelas	MEM08* Vidros de Janelas	MEM08* Vidros de Janelas
Material do “Caso-Base”	Envidraçamento simples Espessura: 8 mm	Envidraçamento simples Espessura: 8 mm	Envidraçamento simples Espessura: 8 mm
Material inserido (Caso-Aprimorado)	Envidraçamento simples Espessura: 6 mm Valor U = 2,15 W/m ² .K	Envidraçamento simples Espessura: 4 mm Valor U = 2,87 W/m ² .K	Envidraçamento simples Espessura: 6 mm Valor U = 2,87 W/m ² .K

Categoria “Materiais”			
Empreendimento	Empreendimento A	Empreendimento B	Empreendimento C
Resultado	Materiais Melhorou 1 % em Materiais  Menos carbono embutido em vidros de janelas	Materiais Melhorou 1 % em materiais  Menos carbono embutido em vidros de janelas	Materiais Melhorou 1 % em Materiais  Menos carbono embutido em vidros de janelas
Medida	MEM11* Isolamento do piso	MEM11* Isolamento do piso	MEM11* Isolamento do piso
Material do “Caso-Base”	Poliestireno expandido ou extrudado Espessura: 54,9 mm	Poliestireno expandido ou extrudado Espessura: 54,9 mm	Poliestireno expandido ou extrudado Espessura: 54,9 mm
Material inserido (Caso-Aprimorado)	Sem isolamento	Sem isolamento	Sem isolamento
Resultado	Materiais Melhorou 1 % em Materiais  Menos carbono embutido em isolamento.	Materiais Sem mudança nos percentuais de materiais, mas houve diminuição no gráfico de carbono embutido:  Menos carbono embutido em isolamento.	Materiais Sem mudança nos percentuais de materiais, mas houve diminuição no gráfico de carbono embutido:  Menos carbono embutido em isolamento.

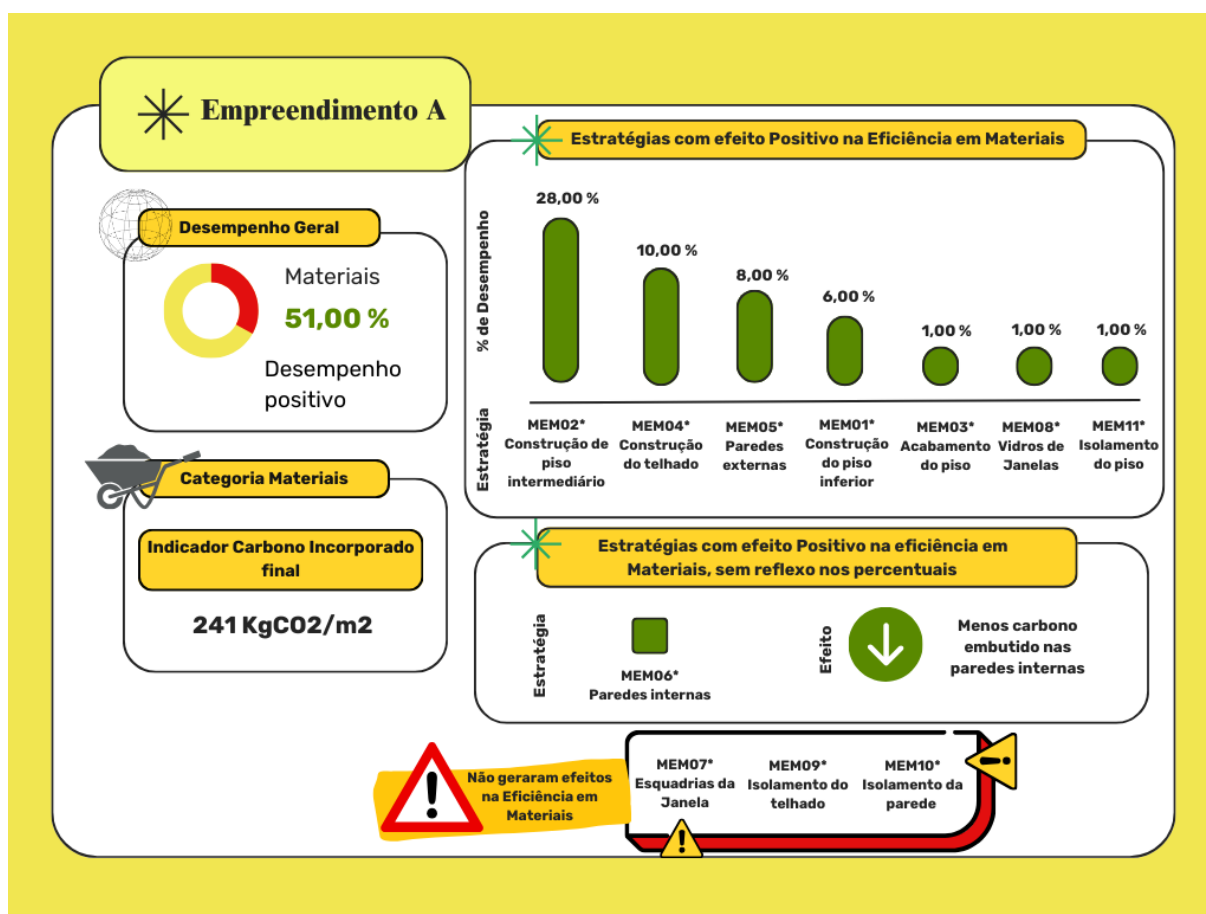
Fonte: Autora (2025).

* Medidas com asterisco são obrigatórias.

Devido à similaridade das medidas MEM01*, MEM02* e MEM04*, estas serão abordadas primeiramente, depois se dará andamento as outras.

Ao preencher a medida MEM01* notou-se que todos os empreendimentos conseguiram melhoria na eficiência de “Materiais” com esta medida, por meio da diminuição do carbono embutido no piso mais baixo do projeto. Ou seja, a estratégia MEM01* gerou percentuais positivos, isto pode ser verificado no painel visual do empreendimento A, na Figura 33.

Figura 33 – Dashboard da Categoria “Materiais” do Empreendimento A.



Fonte: Autora (2025).

Primeiramente, destaca-se o carbono incorporado na tecnologia utilizada, o “Caso-Base” retratava o uso de laje convencional de concreto, com faixa segundo EDGE (2024c) de 161 a 199 kgCO₂e/m². Os empreendimentos A e B substituíram esta tecnologia por laje de concreto com enchimento de poliestireno, com faixa segundo EDGE (2024c) de 57 a 69 kgCO₂e/m², obtendo ambos bons desempenhos em “Materiais”. O empreendimento C não mudou a tecnologia, utilizou a mesma do “Caso-Base”, mas com espessura e taxa de aço menor, com isso obteve desempenho positivo em “Materiais”.

Ao comparar o desempenho dos três empreendimentos na medida MEM01*, nem o valor de U nem a espessura do piso inferior coordenaram as mudanças, verificou-se que além do carbono incorporado na tecnologia utilizada, a taxa de aço foi o fator que diferenciou o desempenho dos três empreendimentos, os quais - independente da tecnologia empregue - conforme se diminuía a taxa de aço na laje aumentava a eficiência em materiais. O desempenho, do maior para o menor, foi B, C e A.

A segunda medida MEM02* de “Materiais” também seguiu o mesmo comportamento influenciado pela taxa de aço. Prevalecendo com o melhor desempenho os empreendimentos

com menor taxa de aço nas lajes intermediárias, visto que gera a diminuição de carbono no piso intermediário. Demonstrado na mesma tendência de desempenho, em ordem decrescente, respectivamente, B, C e A.

Quanto às entradas da MEM01* e MEM02*, em ambas apenas são editáveis as seguintes: tipo de piso, proporção do piso, espessura e taxa de aço. Sobre essas entradas a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) e a norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005; ABNT, 2024) não apresentam valores de referência.

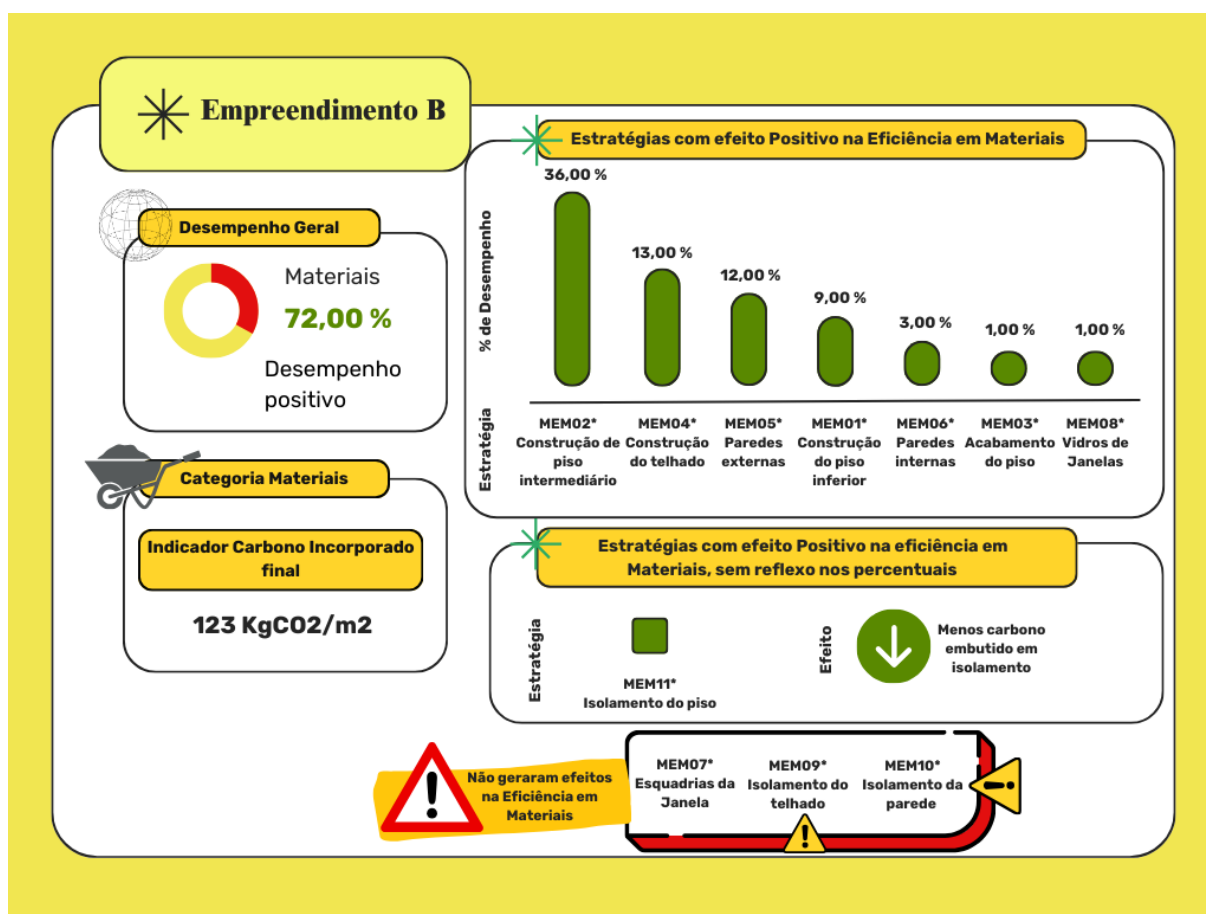
Quanto ao campo “valor U”, o qual aparece na medida MEM01*, é um campo não editável e corresponde ao valor de U da laje térrea/piso elevado, inserido na EEM06* da categoria “Energia”. Nas medidas MEM01* (isolamento de piso inferior) e MEM02* (isolamento de piso intermediário) é importante frisar a não existência de valores referência de transmitância térmica para os pisos intermediárias e pisos térreos na norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005; ABNT, 2024), na Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) e Lamberts et al. (2020).

Na medida MEM04* que se refere ao telhado, os três empreendimentos tinham no “Caso-Base” o uso de laje convencional de concreto, que para a composição de telhado gera segundo EDGE (2024c) de 212 a 266 kgCO₂e/m². Os empreendimentos A e B para compor as camadas do sistema de cobertura utilizaram laje de concreto com enchimento de poliestireno, totalizando segundo EDGE (2024c) de 57 a 69 kgCO₂e/m² de carbono incorporado. Enquanto o empreendimento C, utilizou na composição do telhado o mesmo tipo de laje do “Caso-Base”, no entanto com taxa de aço e espessura menores.

Sabe-se que a taxa de aço é a relação entre o total de aço distribuído na laje dividido pela superfície dela. Considerando constante o total de aço, quando se tem uma superfície de laje maior, isto implica em uma taxa de aço (kg/m²) menor. Na mesma vertente, quando um bloco tem maior área de piso bruta do pavimento tipo, tem-se uma maior superfície de laje, diminuindo a taxa de aço.

Comparando os resultados dos três empreendimentos entre si, no pavimento da cobertura foi constatado o comportamento inversamente proporcional entre a área de piso bruta do pavimento tipo e a taxa de aço. A taxa de aço refletiu na eficiência em materiais e os empreendimentos apresentaram a seguinte sequência decrescente em desempenho, B, C e A. Isto é, destacando-se o empreendimento B (Figura 34), o qual apresentou menor quantidade de carbono embutido na cobertura, devido a maior área de piso bruta do pavimento tipo que resultou em menor taxa de aço.

Figura 34 – Dashboard da Categoria “Materiais” do Empreendimento B.



Fonte: Autora (2025).

Na medida MEM04* (isolamento de cobertura), a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) e Lamberts et al. (2020) limitam a transmitância térmica da cobertura a $U \leq 2,02$ W/m².K, a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) recomenda cobertura leve e refletora, e a NBR 15220-3 (ABNT, 2024) não apresenta recomendação. Portanto, neste quesito relacionado à transmitância térmica da cobertura, os empreendimentos A e B se encaixariam. No entanto, todos os empreendimentos apresentaram bom desempenho na medida MEM04*.

O resultado da estratégia MEM04* é explicado a seguir. Nas medidas MEM01*, MEM02* e MEM04* foi possível notar a influência predominante da taxa de aço para a redução do carbono embutido e bom desempenho em “Materiais”, sem destaque para o valor de U e a espessura das camadas dos pavimentos de piso e de cobertura. Portanto, atingir ou não $U \leq 2,02$ W/m².K não foi o fator determinante.

Gan, Cheng e Lo (2019) ao trabalharem com edificações altas (40 andares) relataram que a maior parte do carbono incorporado se encontra nas estruturas verticais como colunas e paredes localizadas na zona central da edificação. Contrastando com Belizario-Silva et al. (2024) que analisaram edificações de 9 a 37 andares, e em seu estudo abordam que as lajes,

dentre os elementos estruturais, representaram a maior parcela na contribuição para o carbono incorporado, totalizando em média de 48 % de carbono incorporado.

Belizario-Silva et al. (2024) notaram também que layouts mais comuns e em edifícios baixos geravam menor impacto na intensidade de material, visto que a quantidade de pilares e vigas utilizadas diminuía a demanda de espessura na laje, assim como a demanda de concreto nela.

Destacam-se outros pontos relevantes dos resultados dos empreendimentos A, B e C:

- Em primeiro plano, no que se refere aos altos percentuais de eficiência em “Materiais” alcançadas nas medidas MEM01*, MEM02* e MEM04*, isto demonstra a grande influência das características das lajes utilizadas no carbono incorporado. Deve-se frisar que neste estudo foi analisado apenas os elementos estruturais lajes, visto que o EDGE *app* não apresenta medidas para vigas e pilares;

- Em segundo plano, em seus projetos estruturais que por utilizarem sistemas de parede de concreto armado e alvenaria estrutural, puderam fazer uso, de modo geral, de lajes menos espessas (variando de 8 .cm a 15 .cm), distribuindo o carbono incorporado - que seria intenso nas lajes, e demandaria maior taxa de reforço - nas paredes de função estrutural;

- Complementando o argumento anterior, a grande parcela de carbono incorporado nas paredes é visível nos gráficos gerados, para os empreendimentos, na categoria “Materiais”. Este comportamento foi verificado, pois todos os empreendimentos concentraram nas paredes externas o maior percentual de kgCO_2/m^2 . Os gráficos citados serão descritos ao final deste item.

Na medida MEM03*, os três empreendimentos continham em seus projetos o mesmo tipo de material que o “Caso-Base”, com carbono incorporado segundo EDGE (2024c) de 11 a 14 kgCO_2/m^2 , no entanto com menor espessura. Portanto, comparando os resultados de A, B e C, a entrada “espessura” determinou as mudanças nesta medida, gerando melhor desempenho em materiais para os três empreendimentos, em percentuais iguais. Esta melhoria é devido a menor quantidade de carbono embutido no acabamento do piso, resultante da menor espessura.

No que se refere as entradas da medida MEM03*, a norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005) não se encaixa, e a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b, p. 24) detalha como requisito o uso de piso cerâmico esmaltado com classificação PEI⁷⁶(Instituto de Porcelana Esmaltada) IV.

Quanto aos sistemas de vedação vertical, o EDGE *app* apresenta medidas tanto na categoria “Energia” quanto na categoria “Materiais”:

⁷⁶ PEI – da sigla em inglês “Porcelain Enamel Institute”.

- Na categoria “Energia”, a medida relacionada é a EEM08* (isolamento das paredes externas) e, como já mencionado, o critério de diferenciação dos desempenhos dos empreendimentos foi o valor U das paredes;

- Em “Materiais”, existem duas estratégias uma referente a paredes externas (MEM05*) e a outra para as internas (MEM06*), apenas na primeira aparece o campo “Valor U” e corresponde a um campo não editável. Nestas medidas o que coordena os resultados é o carbono incorporado dos sistemas construtivos utilizados;

- Quanto as entradas inseridas em MEM05* e MEM06*, a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) e a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) não se enquadram, e Lamberts et al. (2020) recomendam paredes em bloco de concreto (P2) e em alvenaria de tijolos (P4), ambas conforme composições citadas anteriormente;

- Nas medidas MEM05* e MEM06* são solicitadas informações como o tipo de parede, a proporção deste tipo e a espessura. Conforme descrito no método de pesquisa, as paredes tiveram que ser enquadradas aos limites de espessura definidos nas tabelas 5 e 7 do EDGE (2024c).

Analisando os resultados em “Materiais”, na medida MEM05* Paredes externas, os três empreendimentos apresentaram melhoria na eficiência em materiais, no entanto as diferenças de percentuais de melhoria demonstram os benefícios de uma tecnologia construtiva em relação à outra. Isto está relacionado ao carbono incorporado, A e C com maior carbono incorporado em suas paredes externas tiveram menor desempenho que o empreendimento B que apresentou menor carbono incorporado.

Os empreendimentos A e C utilizaram concreto armado nas paredes externas, o carbono incorporado das paredes dessa tecnologia é no mínimo 87,00 kgCO₂e/m² (limite inferior em EDGE, 2024c). Enquanto o empreendimento B, utilizou bloco de concreto de peso médio, com 71,00 kgCO₂e/m² (limite inferior em EDGE, 2024c).

Na medida MEM06* Paredes internas, o empreendimento B também apresentou o melhor resultado, devido a menor quantidade de carbono embutido em paredes internas. Portanto, no que se refere às medidas MEM05* e MEM06*, as tecnologias empregues nas paredes dos três empreendimentos foram benéficas em relação à tecnologia construtiva do “Caso-Base”, sendo o destaque para o sistema de blocos de concreto, utilizado no empreendimento B, que apresentou maior desempenho em ambas as medidas.

Isto se dá pois, na medida MEM06*, o “Caso-Base” continha paredes internas compostas por tijolo maciço (0 - 25% de vazios) com gesso interno e externo, as quais de acordo

com os dados de EDGE (2024c) para paredes internas geram a faixa de 58 a 89 kgCO₂e/m². Enquanto que as soluções construtivas utilizadas nos Casos-Aprimorados apresentaram menor carbono incorporado:

- Com menor benefício para os empreendimentos A e C que utilizaram paredes internas em concreto armado, nas quais segundo EDGE (2024c) a faixa de carbono incorporado é de 49 a 60 kgCO₂e/m²;

- E com maior desempenho em “Materiais” para o empreendimento B, o qual utilizou blocos de concreto de peso médio, os quais de acordo com EDGE (2024c) o carbono incorporado está na faixa de 32 a 37 kgCO₂e/m².

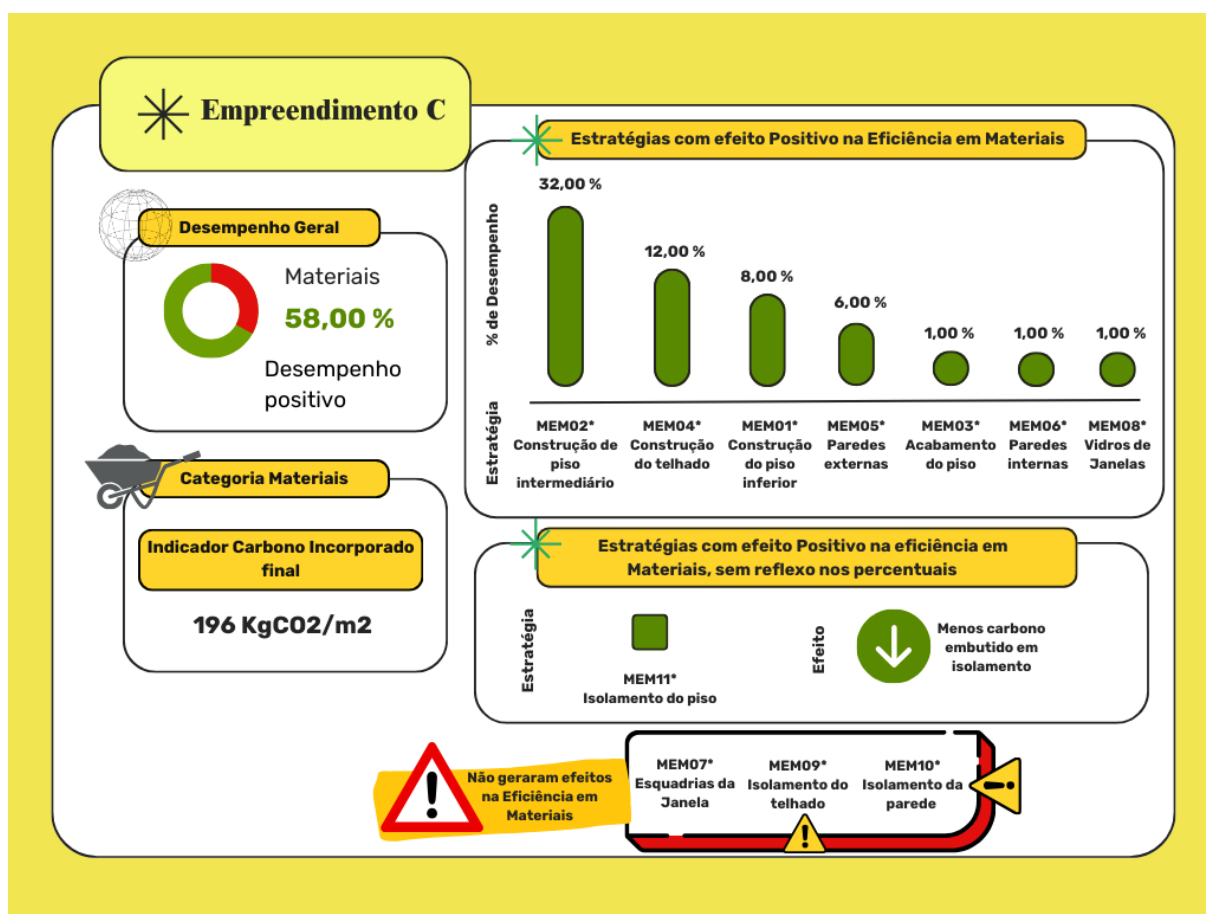
Ainda sobre a melhoria de eficiência em materiais em relação as “Caso-Base” e o sistema de paredes empregue nele, segundo dados do IFC (2017) o elemento bloco cerâmico de argila tem GWP (kgCO₂e) e energia embutida (em MJ) maiores que o elemento bloco de concreto de peso médio. Leão et al. (2022) relatam que para a unidade funcional de 1 m² de parede, quando se utiliza alvenaria de tijolo cerâmico ocorre maiores impactos ambientais em relação a parede com sistema de bloco de concreto.

Leão et al. (2022) relacionam os impactos ao fato que no tijolo cerâmico há maior demanda de recursos minerais, maior demanda cumulativa de energia e maior GWP. Já, segundo os autores, o sistema de bloco de concreto só supera negativamente as paredes de blocos cerâmicos em dois índices de impacto ambiental, os quais retrataram maior demanda de água (pegada hídrica) e maior necessidade de combustível fóssil (fossil resource scarcity). Dessa forma pode ser explicada a melhoria em eficiência em materiais em relação as “Caso-Base”.

Contrastando com Taylor et al. (2023) que ao realizarem a análise do ciclo de vida de sistemas de vedação vertical da envoltória, notaram maior GWP para os sistemas com blocos de concreto que para o uso de tijolo cerâmico. Os autores associaram as maiores emissões, em ambos os sistemas, às etapas de produção dos blocos e construção da edificação.

Na medida MEM07* (Esquadrias da Janela), nesta deve ser inserido o tipo de material utilizado nas esquadrias das janelas. Os empreendimentos A, B e C utilizaram o mesmo material, o qual era correspondente ao “Caso-Base” na estratégia (Alumínio), devido a isto não foram gerados percentuais negativos ou positivos no desempenho em “Materiais”. Este comportamento pode ser visualizado na Figura 35 que destaca na parte inferior as estratégias que não geraram efeitos na categoria.

Figura 35 – Dashboard da Categoria Materiais do Empreendimento C.



Fonte: Autora (2025).

Quanto a entrada inserida na MEM07*, a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) não apresentam sugestões, já a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) adverte quanto ao uso de esquadrias em aço em zona litorâneas, recomendando materiais como alumínio, PVC e madeira.

Na medida MEM08*, na Aba Materiais, o “Caso-Base” retratava o uso de vidros simples, que segundo EDGE (2024c) incorpora 27 kgCO₂/m², e com espessura de 8 mm. Os três empreendimentos utilizaram o envidraçamento simples, variando na espessura e no valor de U (gerado automaticamente na medida MEM08*). O desempenho dos três empreendimentos foi igual, pode-se relacionar o benefício que tiveram em carbono incorporado devido ao fato que os três utilizaram vidros com menor espessura em relação ao “Caso-Base”. Ou seja, o fator espessura foi determinante neste caso.

Quanto à MEM08*, nesta medida as entradas necessárias são “tipo de vidro” e “espessura”, quantas elas a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b), a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e Lamberts et al. (2020) não apresentam sugestões.

Segundo EDGE (2021) na medida MEM08*, a maior quantidade de folhas de vidro ao passo que beneficia a edificação na diminuição de demanda de energia, reflete no aumento de energia incorporada em materiais, ainda segundo o autor, o índice WWR é a forma de equilibrar este incremento em carbono incorporado.

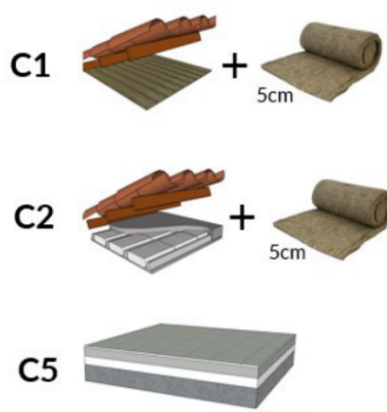
Ou seja, um baixo índice WWR reflete na diminuição de carbono incorporado em vidros. Isto foi verificado na medida EEM01* Razão janela-parede, na Aba Energia em que o WWR baixo dos empreendimentos em relação ao “Caso-Base”, gerou menor carbono incorporado em vidros.

As medidas MEM09* e MEM10* se referem, respectivamente, ao isolamento do telhado e das paredes. Em ambas as estratégias o “Caso-Base” previa a ausência de isolamento, o que também ocorreu nos três empreendimentos, dessa forma não foram gerados efeitos positivos ou negativos no desempenho em “Materiais” por estas medidas.

Na medida MEM11* Isolamento do piso, o “Caso-Base” previa o isolamento do piso com poliestireno em placa ou em espuma. Ao analisar os três empreendimentos, a seleção da medida e a opção por “não utilizar isolamento” no sistema de piso gerou benefício para todos, refletido em: menos carbono incorporado para os empreendimentos B e C; e, em percentuais de melhoria de eficiência em materiais para o empreendimento “A”.

Quanto ao uso de isolamento em sistemas na Zona 8 (Cidade de Belém) e as medidas MEM09*, MEM10* e MEM11*, a Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b) e a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) não apresentam recomendações relacionadas. Neste quesito Lamberts et al. (2020) se delimitam a sugestões voltadas à cobertura, com soluções construtivas sem e com isolamento (Figura 36): sendo C1 e C2 sistemas que usam como isolamento a camada de lã de rocha de 5.cm; e C5 que prevê o isolamento com placa em EPS (Poliestireno Expandido) de 5.cm.

Figura 36 – Sistemas de cobertura.



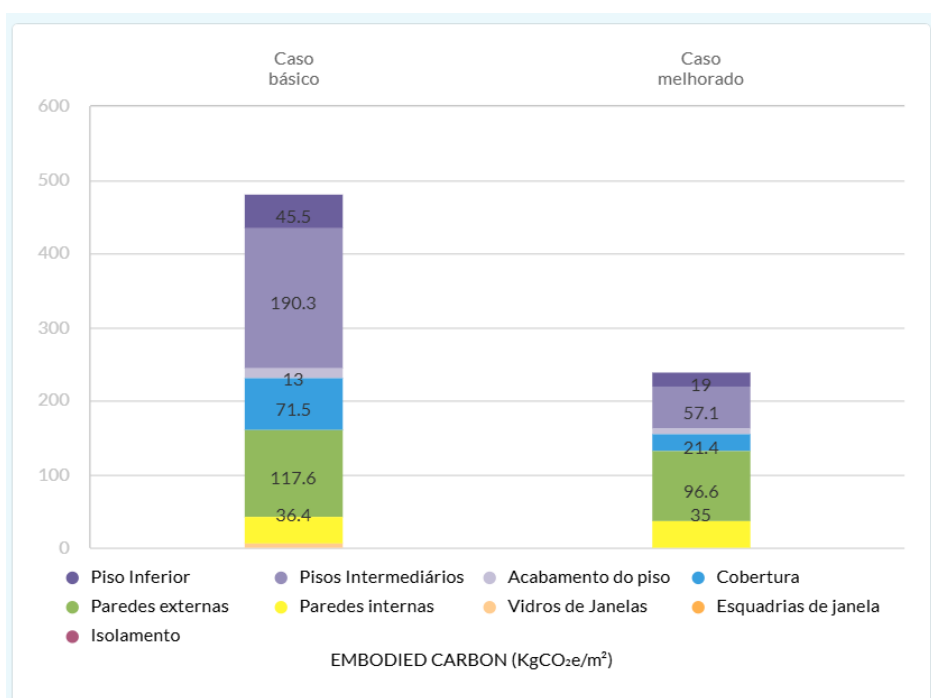
Fonte: Modificado de Lamberts et al. (2020).

O indicador selecionado para a Categoria Materiais foi o KPI Carbono incorporado final ($\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$), ele tem a mesma unidade do gráfico da categoria citada. Este indicador é disposto no gráfico representando a coluna do Caso-Aprimorado. Portanto, o KPI Carbono incorporado final será analisado a seguir na forma gráfica.

Quanto aos gráficos de “Carbono incorporado” gerados para os empreendimentos ao final da simulação, notou-se os seguintes comportamentos, eles foram:

- No empreendimento A (Figura 37), na coluna do Caso-Aprimorado, o empreendimento totalizou 240,50 $\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$, tem-se as sete parcelas em ordem decrescente de magnitude: Paredes Externas, Pisos Intermediários, Paredes Internas, Cobertura, Piso Inferior, Acabamento do piso e Vidros de Janela.

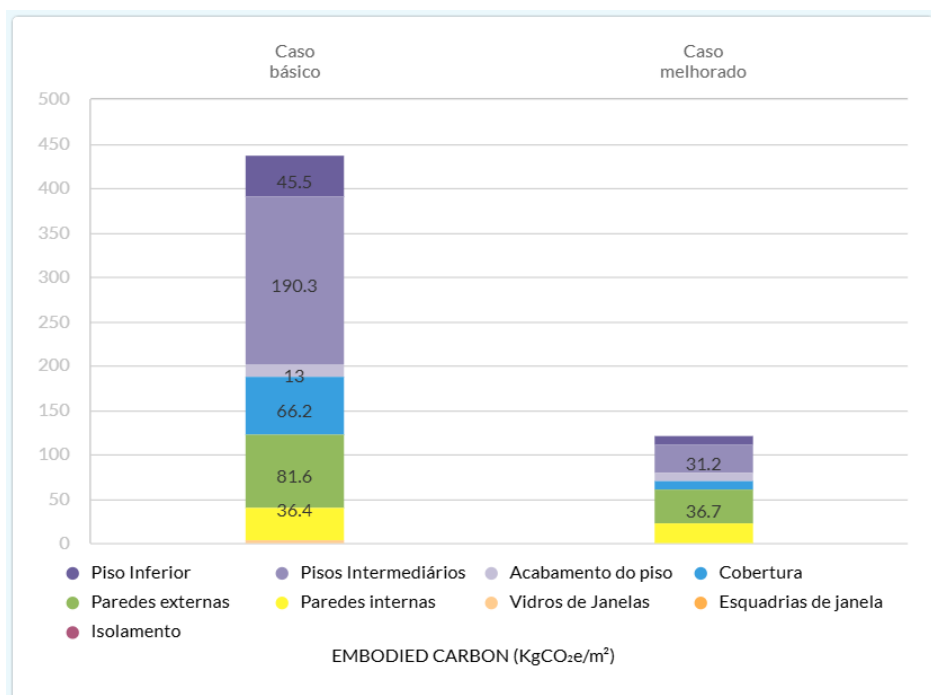
Figura 37 – Gráfico de “Carbono incorporado” do empreendimento A.



Fonte: Modificado de EDGE *app* (2025).

- No empreendimento B (Figura 38), na coluna do Caso-Aprimorado, o empreendimento totalizou 122,60 $\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$, tem-se as sete parcelas em ordem decrescente de magnitude: Paredes Externas, Pisos Intermediários, Paredes Internas, Cobertura, Piso Inferior, Acabamento do piso e Vidros de Janelas.

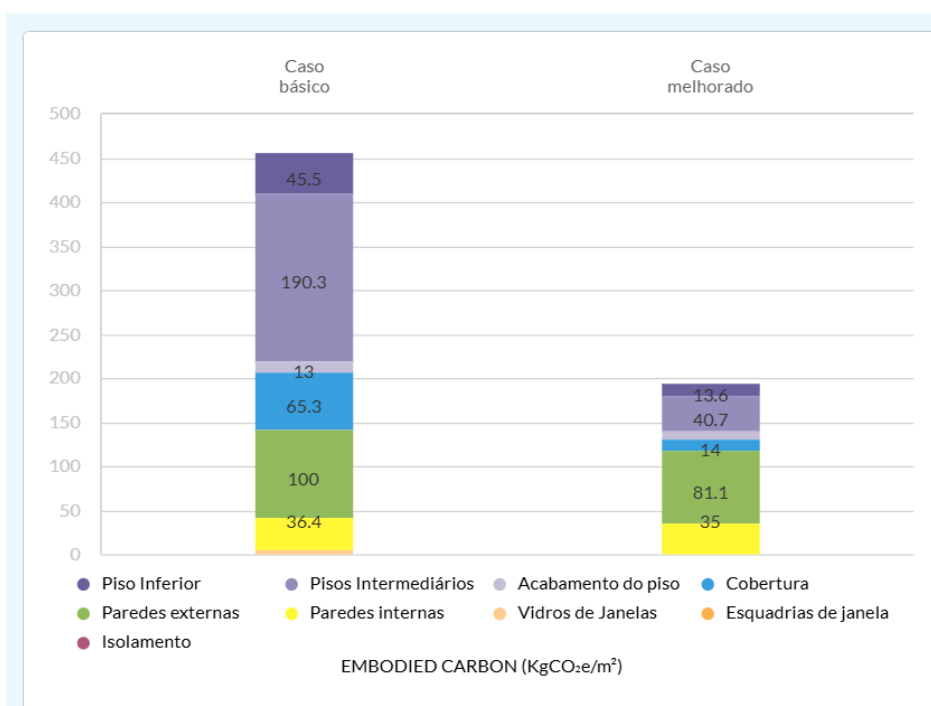
Figura 38 – Gráfico de “Carbono Incorporado” do empreendimento B.



Fonte: Modificado de EDGE *app* (2025).

- No empreendimento C (Figura 39), na coluna do Caso-Aprimorado, o empreendimento totalizou 195,00 kgCO₂e/m², tem-se as sete parcelas em ordem decrescente de magnitude: Paredes externas, Pisos Intermediários, Paredes Internas, Cobertura, Piso Inferior, Acabamento do Piso e Vidros de Janelas.

Figura 39 – Gráfico de “Carbono Incorporado” do empreendimento C.



Fonte: Modificado de EDGE *app* (2025).

Sabendo-se do crescente emprego de materiais em obras de construção (Miatto et al., 2017), dos impactos ambientais ocasionados pelos materiais estruturais, da parcela do concreto armado nestes impactos (Hoxha et al., 2017) e no carbono incorporado da edificação (Belizario-Silva et al., 2024). A análise do desempenho em materiais utilizando a plataforma EDGE, permite manipular as medidas previamente ao projeto, e com isto: selecionar de forma consciente os materiais a serem utilizados; traçar estratégias que possibilitem melhor desempenho em materiais; e por fim, escolher materiais que possam equilibrar desempenho energético e energia incorporada.

4.3. Implicações

A condução desse estudo e análise dos resultados geraram implicações que se desdobraram em:

a) Implicações práticas:

- Verifica-se a importância das escolhas de materiais para os sistemas (piso, cobertura, paredes) que possam estar de acordo com a zona climática, a fim beneficiar o desempenho energético das edificações;

- Nota-se que se deve primeiramente trabalhar no sentido de reduzir o consumo energético, antes de utilizar outras estratégias projetuais mais onerosas;

- Neste sentido, destaca-se reduzir o aquecimento solar da edificação, por meio do design, como por exemplo a utilização de fachadas maiores no sentido Norte-Sul. Esta estratégia impacta no menor consumo de energia direcionada para o resfriamento da edificação, tanto na energia real quanto na energia projetada (Energia virtual);

- Nota-se que decisões projetuais que possam gerar eficiência hídrica são essenciais no MCMV;

- Deve-se especificar mecanismos/sistemas que gerem “água quente” de maneira eficiente;

- A energia virtual presente nos gráficos de Energia dos empreendimentos simulados, demonstra que os artifícios utilizados e as configurações das edificações Minha Casa Minha Vida, na primeira versão do programa habitacional (até 2021), não foram suficientes para a promoção do conforto térmico para os usuários.

b) Implicações teóricas:

- A utilização da Metodologia EDGE apresenta indicadores-chave de desempenho que foram utilizados para avaliar os empreendimentos MCMV. Porém, para a melhor compreensão dos resultados desses indicadores, deve-se seguir o recomendado abaixo;

- A fim de obter uma análise refinada dos resultados das simulações no EDGE *app*, recomenda-se seguir o Método de pesquisa que essa dissertação sugere (item 3), visto que é descrita uma abordagem estratégica em que são identificadas a cada entrada de dados as mudanças que ocorrem nos percentuais das categorias assim como nos gráficos e, isto permite vincular a melhora ou piora identificada no empreendimento de acordo com a medida de eficiência ou característica projetual inserida;

- Esta abordagem, realizada nessa Dissertação, também permite dar soluções projetuais de forma mais embasada, além de servir como base na busca da melhoria do desempenho da edificação, ainda na fase preliminar de projeto.

c) Implicações políticas:

- Com os resultados obtidos, sugere-se a possibilidade de trabalhar uma política de retrofit para as Habitações de Interesse Social que foram construídas na primeira versão do Programa Minha Casa, Minha Vida (até 2021). A fim tentar fornecer melhorias construtivas baseadas na nova Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b), quando aplicável, possibilitando fornecer um melhor conforto aos usuários destas edificações. Visto que são populações vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas globais.

- Utilizar como especificação construtiva o uso de gradil não somente nas unidades térreas, mas nas janelas dos pavimentos superiores, a fim de melhorar o contexto do uso da ventilação noturna nas unidades.

- Recomenda-se utilizar ainda na projetual como indicado na literatura, o uso de lajes elevadas (Cunha, 2006) ou o sistema de pilotis (Gonçalves et al. 2024) como medidas voltadas para o contexto bioclimático de Belém.

- Diante da recomendação de Santana et al. (2023) no que se refere a necessidade de certificações mais acessíveis para a expansão no Brasil. O EDGE apresenta-se como uma proposta neste sentido, visto que ao serem simulados os empreendimentos neste estudo, os empreendimentos MCMV conseguiram atingir duas de suas categorias. Além de que o site de projetos EDGE já demonstra a utilização dessa certificação em HIS. Como exemplo, a

Comunidade do Aço (GBCBrasil, 2024). Diante dessa abrangência de tipologias da certificação EDGE, conclui-se a viabilidade do EDGE como certificação acessível e ampla.

5. CONCLUSÕES

Respondendo à pergunta de pesquisa, os empreendimentos MCMV, da faixa 1, localizados em Belém/PA, não atingiram o padrão mínimo da certificação EDGE, no entanto, o resultado contrastou o pressuposto. Foi demonstrado um cenário melhor que o previsto, visto que foi possível atingir, em todos os empreendimentos, o desempenho superior ao mínimo da certificação nas categorias “Energia” e “Materiais”.

A realização do presente trabalho permitiu atingir os objetivos traçados, portanto:

a) Foi possível analisar os empreendimentos MCMV da modalidade apartamentos, na faixa 1 do programa, sob os critérios da certificação EDGE;

b) Através das análises de simulação no EDGE *app* pode-se identificar que os empreendimentos apresentam bom desempenho nas categorias Energia e Materiais da certificação EDGE, no entanto apresentam desempenho hídrico negativo, não atingindo o mínimo exigido pela certificação para a categoria Água;

c) Notou-se que as edificações MCMV apresentam eficiência em materiais, mas seu desempenho hídrico deve ser trabalhado, assim como a questão energética, visto que apesar do resultado positivo na categoria Energia da certificação EDGE, a energia virtual prevista, e refletida nos gráficos, revelou a falta de conforto térmico para os usuários;

d) Ainda nesse sentido, o presente trabalho apresentou resultados na forma de indicadores-chave de desempenho. Destacam-se a seguir os resultados obtidos nos indicadores pré-selecionados, para representar as abordagens Energética, Hídrica, de Materiais e de Emissões de CO₂, e nos gráficos das categorias da certificação EDGE:

- i. KPIs EPI (Índice de Desempenho Energético) do “Caso-Base” e KPI EPI do Caso – Melhorado, por meio dos resultados verificados para estes indicadores, em cada um dos empreendimentos, foi possível notar que: as melhorias obtidas em termos de energia virtual não se desdobraram em melhorias na intensidade energética atual, demonstrando a necessidade de trabalhar com base na intensidade energética nos empreendimentos; de modo geral, os empreendimentos A e B, não apresentaram grande diferença entre a intensidade energética de seus “Caso-Base” e Caso-Melhorado, apresentaram ainda um pequeno aumento de consumo energético, ambos relacionados às parcelas “Água quente” e “Bombas d’água”, na primeira parcela o aumento está relacionado a previsão de chuveiros elétricos não eficientes (EEM18*), já

na segunda devido ao alto fluxo de chuveiros e torneiras instalados (medidas WEM01* e WEM02*); o empreendimento C foi o único que apresentou melhoria na intensidade energética, fato relacionado a redução de consumo na parcela “iluminação”, visto que este empreendimento apresentava duas medidas de redução de consumo para iluminação (EEM23 e EEM24).

- ii. Por meio da visualização do Gráficos de “Energia” (Categoria Energia), verificou-se: o comportamento inversamente proporcional das grandezas demanda de “Energia virtual” e o “Desempenho energético”; conforme se adotou medidas de estratégias para a iluminação nos empreendimentos, a parcela “iluminação” saltou do primeiro maior consumo para as posições menores, demonstrando o percentual alto dela, no consumo energético; As parcelas que predominaram no gráfico de energia foram energia virtual, cozinha e iluminação, corroborando com a literatura quando se refere ao alto consumo de energia na Região Norte, direcionado para o conforto térmico e conservação de alimentos.
- iii. KPI Emissões operacionais finais de CO₂, referente a esse indicador o empreendimento A apresentou 0,04 tCO₂/mês/apartamento, já os empreendimentos B e C apresentaram, ambos, 0,03 tCO₂/mês/apartamento. Vale ressaltar, que este indicador é melhor compreendido quando visualizado no Gráfico de “Emissões de Carbono” representando a parcela Eletricidade (na unidade tCO₂e/ano/apartamento), portanto, será descrito a seguir.
- iv. Gráficos de “Emissões de Carbono” (Categoria Energia), neles foi possível: visualizar o cenário de descarbonização em que estão as habitações de interesse social do MCMV, pois pode-se notar quais parcelas interferiram diretamente nas emissões dos empreendimentos, elas foram eletricidade e gás do agente refrigerante, e os fatores que coordenaram tais mudanças; verificar na parcela “Eletricidade” os três fatores que interferiram nos resultados, eles foram “Sistema AVAC” (Climatização), o campo “Água quente” na Seção “Uso de combustível”, ambos da Aba Projeto e, a medida WEM01* (Chuveiros com eficiência hídrica), da Categoria Água; visualizar na parcela “Eletricidade” o melhor desempenho em redução de emissões de CO₂ relacionado a eletricidade, o qual ocorreu para o empreendimento C, devido a ausência de dois fatores, sistema de climatização e previsão de uso de água quente;

visualizar na parcela “gás refrigerante” que nenhum dos empreendimentos adotaram estratégias para a redução de emissões relacionadas ao gás refrigerante previsto para os sistemas de resfriamento das edificações.

- v. O KPI “Uso final de Água” apresentou semelhança nos resultados para os empreendimentos A e B, que apresentaram 16 m³/mês/apartamento, já o empreendimento C apresentou consumo menor, no valor de 15 m³/mês/apartamento.
- vi. Nos Gráficos de consumo hídrico foi possível notar: Semelhança para os três empreendimentos, quanto aos usos finais de água; As parcelas com maior consumo hídrico foram “chuveiros”, “torneiras de lavatório” e as “torneiras de cozinha”; algumas medidas da Categoria Água interferem nos resultados da Categoria Energia, como exemplo as medidas WEM01*, WEM02* e WEM08*.
- vii. Por meio do KPI Carbono incorporado final (kgCO₂e/m²) e dos Gráficos de carbono incorporado, foi possível notar que: a taxa de aço é um fator determinante no carbono incorporado de pisos e lajes; Conforme se adotou baixa taxa de aço nos pisos dos empreendimentos, estes elementos saíram da maior representatividade de carbono incorporado, na coluna do “Caso-Base”, para uma posição menor na coluna do Caso-Melhorado; As paredes externas apresentaram a maior taxa de carbono incorporado, mas isso é esperado visto a função estrutural delas e a possibilidade de utilizar lajes menos espessas e armadas; medidas da Categoria Energia podem interferir no carbono incorporado em materiais, como exemplo, verificou-se que o uso da estratégia Eficiência do vidro (EEM09*), beneficiou a eficiência energética, mas impactou no aumento de carbono incorporado nas parcelas “Vidros” e “Isolamento”, da categoria “Materiais”; Dentre os empreendimentos, o B apresentou a melhor eficiência em materiais visto que uniu dois fatores determinantes, a baixa taxa de aço nos pavimentos e as paredes externas com bloco de concreto de peso médio.

e) Este trabalho permitiu analisar as escolhas projetuais nos empreendimentos, em cada categoria da certificação, sendo possível verificar através dos Dashboards os efeitos das estratégias utilizadas. Além disso, estas escolhas foram comparadas com a literatura com a norma NBR 15220-3 e com a nova Portaria MCID nº 725 (Brasil, 2023b);

- f) Dentre as estratégias que conduziram os desempenhos nas categorias:
- i. Na categoria Energia, destacaram-se a ventilação natural (EEM11) e a Razão Janela-Parede (EEM01*), demonstrando a importância das características relacionadas às aberturas nas edificações, sendo recomendado trabalhar com WWR equilibrado, o posicionamento preferencial de aberturas para a lateral leste, o uso de esquadrias com maior percentual de abertura, e o cobrimento de aberturas voltadas para a cardinal Oeste; as medidas Isolamento de paredes externas (EEM08*) e Isolamento do telhado (EEM05*), que indicaram a importância de trabalhar com paredes e sistemas de cobertura com maior isolamento, portanto valor de U mais baixo; a medida Paredes Externas Reflexivas (EEM03), pois nos empreendimentos quando o SRI das paredes externas era alto isto beneficiava em altos percentuais o desempenho energético da edificação, fato que reforça a importância de utilizar cores claras e acabamento com potencial reflexivo na envoltória da edificação;
 - ii. Na categoria Água, houve destaque para as medidas: WEM01* que, através de seus resultados, foi possível verificar a necessidade de especificar chuveiros com taxa de fluxo abaixo de 12l/min, ou mecanismos redutores de vazão na instalação hidráulica; WEM01* também demonstrou que ocorre a redução de emissões de dióxido de carbono (CO₂) na ausência chuveiro elétrico, indicando a necessidade de trabalhar com chuveiros elétricos eficientes, caso não tenha como evitá-los; WEM02* e WEM08*, demonstraram a necessidade de utilizar torneiras de lavatórios e da cozinha, com taxa de fluxo, respectivamente, de até 8 l/min e 10 l/min, para diminuir a demanda hídrica.
 - iii. Na categoria Materiais, as medidas piso intermediário MEM02* e construção do telhado MEM04*, geraram altos percentuais positivos, relacionados a taxa de aço, de modo geral, baixa em todos os empreendimentos; Ainda as medidas MEM01*, MEM02*, MEM04* retrataram a importância de trabalhar com uma taxa de aço equilibrada, e utilizar tecnologias construtivas como a “laje com enchimento de poliestireno”, a fim de reduzir o carbono incorporado nos sistemas de piso e cobertura da edificação; As estratégias MEM05* e MEM06* demonstraram que a escolha do sistema utilizado na parede externa influencia no carbono incorporado na edificação, e entre os sistemas utilizados nos empreendimentos, a vedação com bloco de concreto foi a que gerou maior

percentual de benefício em diminuição do carbono incorporado; Na medidas MEM08* a espessura menor do vidro propiciou diminuição no carbono incorporado, no entanto cabe considerar que quando se especifica vidros com maior isolamento ou uso de tratamento específico para controle de radiação, a edificação se beneficia ao evitar ganhos térmicos para o clima quente.

g) Os empreendimentos tiveram seus desempenhos comparados entre si, com base nos indicadores pré-selecionados, e nesse tocante: na abordagem energética, se destacaram dois empreendimentos, eles foram o empreendimento B pela menor intensidade energética e, o empreendimento C por ter conseguido alcançar redução na intensidade energética no “Caso-melhorado”; na abordagem hídrica, destacou-se o empreendimento C, pelo menor consumo mensal por unidade residencial; na abordagem de “Materiais”, o Empreendimento B se sobressaiu no melhor desempenho devido ao sistema de vedação vertical utilizado (bloco de concreto de peso médio) e a baixa taxa de aço nos pisos, além de apresentar o menor impacto negativo, entre as opções dos empreendimentos, na medida isolamento de parede (EMM08*) da categoria “Energia”; e, por fim, na abordagem de Emissões de CO₂, os empreendimentos B e C apresentaram as menores taxas, no entanto, destacou-se o empreendimento C pois além disso, gerou uma economia de CO₂ operacional de 8,44 tCO₂/Ano.

O presente trabalho por meio das simulações realizadas nos empreendimentos A, B e C, gerou como contribuições:

- Por meio da modelagem dos empreendimentos, ficou evidente que para que as edificações apresentarem resultados satisfatórios nas três categorias da Certificação EDGE, exige-se utilizar estratégias construtivas e especificar materiais e/ou equipamentos que consigam equilibrar os desempenhos nelas. Por exemplo, especificar materiais que equilibram suas características térmicas (Categoria Energia) com o carbono embutido neles (Categoria Materiais), utilizar chuveiros e torneiras (Categoria Água) que apresentem taxas de fluxo adequadas a fim de evitar o aumento do consumo energético direcionado para bombas d’água (Categoria Energia);
- Destacar o papel do projetista na implementação de medidas que possam beneficiar a eficiência energética, hídrica e em materiais, na edificação;
- Fornecer implicações técnicas, teóricas e políticas desse estudo;
- Demonstrar o cenário de baixo desempenho hídrico das edificações MCMV;
- Visualizar, em termos de energia virtual, a falta de conforto térmico em habitações do programa MCMV;

- Sugerir a certificação EDGE como proposta de certificação acessível e ampla;
- Apresentar um procedimento para utilizar os indicadores de desempenho (KPIs) do *software* EDGE com maiores benefícios, por meio do cômputo dos percentuais gerados nas categorias e das mudanças nos gráficos, com as entradas inseridas;
- Sugerir, como a própria metodologia do EDGE (EDGE, 2021) indica, utilizar o *software* EDGE para orientar decisões projetuais, pois ele fornece uma visão geral sobre o uso de recursos na edificação, para dados mais precisos recomenda-se o uso de ferramentas de simulação dinâmica;
- Atingir um dos componentes do Rastreador Climático Global de Edifícios (GBCT) (UNEP, 2024a), o qual se refere à emissão operacional de CO₂. O Componente “adoção de GBL” não foi atingido visto que os empreendimentos não atingiram o mínimo em todos os requisitos da certificação EDGE.

6. RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, o presente estudo recomenda a simulação dos mesmos empreendimentos estudados por meio de *softwares* de simulação dinâmica, como exemplo o *DesignBuilder*.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. Acesso: 15 jan. 2025.

ABNT. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático por Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. Acesso: 14 jan. 2025.

ABNT. **NBR 10821-4: Esquadrias para edificações – Parte 4: Esquadrias externas – Requisitos adicionais de desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. Acesso: 21 jan. 2025.

ABNT. **NBR 10456: Materiais e produtos de construção — Propriedades higrotérmicas — Valores e procedimentos de projeto tabulados para determinar valores térmicos declarados e de projeto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. ISBN 978-85-07-09124-0.

ABNT. **NBR NM 294: Vidro float**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Acesso em: 27 jan. 25.

ABRAHÃO, K. C. de F. J.; SOUZA, R. G. V. de. Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 383-408, abr./jun. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000200532>

ACOLIN, Arthur; GREEN, Richard K. Measuring housing affordability in São Paulo metropolitan region: Incorporating location. **Cities**, [s. l.], v. 62, p. 41–49, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264275116303067>. Acesso em: 17 jul. 2024.

ACOLIN, Arthur; HOEK-SMIT, Marja C.; ELOY, Claudia Magalhães. High delinquency rates in Brazil's Minha Casa Minha Vida housing program: Possible causes and necessary reforms. **Habitat International**, [s. l.], v. 83, p. 99–110, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0197397517312572>. Acesso em: 17 jul. 2024.

AGYEKUM, Kofi *et al.* Importance-performance analysis (IPA) of the indoor environmental quality (IEQ) of an EDGE-certified building in Ghana. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, [s. l.], v. 41, n. 1, p. 73–95, 2023. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJBPA-03-2021-0040/full/html>. Acesso em: 4 jul. 2024.

ALCHAPAR, Noelia L.; CORREA, Erica N. Optothermal properties of façade coatings. Effects of environmental exposure over solar reflective index. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 32, p. 101536, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352710219318534>. Acesso em: 11 out. 2024.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Evolução dos Usos Setoriais da Água no Brasil. Retirada em m³/s**, ANA, 2023. Disponível em: <https://public.flourish.studio/visualisation/14791191/>. Acesso: 06 jun. 2024.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos Brasil**, SNIRH, 2024. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjunturainforme2023.pdf>. Acesso: 06 jun. 2024.

ASHRAE. **ASHRAE 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. 2016. Disponível em: https://store.accuristech.com/standards/ashrae-90-1-2016-ip?product_id=1931793. Acesso em: 14 jan. 2025.

AULICINO, Patricia. **Análise de métodos de avaliação de sustentabilidade do ambiente construído: o caso dos conjuntos habitacionais**. 2008. - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-09022009-185405/>. Acesso em: 19 jun. 2024.

AZHAR, S; CARLTON, W; OLSEN, D, AHMAD, I. Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 217–224, 2011. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580510001482>. Acesso em: 13 jun. 2024.

AZARI, Rahman; ABBASABADI, Narjes. Embodied energy of buildings: A review of data, methods, challenges, and research trends. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 168, p. 225–235, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778817327937>. Acesso em: 21 maio 2024.

AWADH, Omair. **Sustainability and green building rating systems: LEED, BREEAM, GSAS and Estidama critical analysis**, 2017. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352710216301152>. Acesso em: 18 jun. 2024.

BALBIM, Renato; KRAUSE, Cleandro. Produção social da moradia: um olhar sobre o planejamento da Habitação de Interesse Social no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 189, 2014. Disponível em: <http://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/4905>. Acesso em: 2 jan. 2023.

BALBIM, Renato; KRAUSE, Cleandro; LIMA NETO, Vicente Correia. **Para além do Minha Casa Minha Vida: Uma política de habitação de interesse social?**, ECONSTOR, 2015. Disponível em: <https://www.econstor.eu/handle/10419/121642>. Acesso em: 17 jul. 2024.

BARBERÁN, R; EGEA, P; GRACIA, P; SALVADOR, M. Evaluation of water saving measures in hotels: A Spanish case study. **International Journal of Hospitality Management**, [s. l.], v. 34, p. 181–191, 2013. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278431913000169>. Acesso em: 7 jun. 2024.

BELIZARIO-SILVA, F.; COSTA REIS, D.; CARVALHO, M.; FRANÇA, R. L. E. S.; JOHN, V. M. Material intensity and embodied CO2 benchmark for reinforced concrete structures in Brazil. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 82, p. 108234, 2024. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352710223024142>. Acesso em: 17 jan. 2024.

BORGSTEIN, E.H.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J.L.M. Evaluating energy performance in non-domestic buildings: A review. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 128, p. 734–755, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778816306144>. Acesso em: 6 jun. 2025.

BOWLES, Devin C.; BUTLER, Colin D.; FRIEL, Sharon. Climate change and health in Earth's future. **Earth's Future**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 60–67, 2014. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2013EF000177>. Acesso em: 24 maio 2024.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm#art6. Acesso em: 18 dez. 2023.

BRASIL. Gov.br. Planalto. **ONU confirma Belém (PA) como sede da COP-30, a conferência para o clima**. 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2023/05/onu-confirma-belem-pa-como-sede-da-cop-30-conferencia-para-o-clima>. Acesso em: 22 abr. 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Portaria MCID nº 725, de 15 de junho de 2023: Versão Compilada**. 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/habitacao/arquivos-1/ANEXOIPortariaMCidadesn.725de15dejunhode2023.pdf> . Acesso em: 21 abr. 2025.

BRASIL. Gov.br. Secretaria de Comunicação Social. **Novo Minha Casa, Minha Vida inicia contratações de moradias para famílias de baixa renda**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2024/02/novo-minha-casa-minha-vida-inicia-contratacoes-de-moradias-para-familias-de-baixa-renda#:~:text=Na%20Faixa%201%2C%20j%C3%A1%20foram,previs%C3%A3o%20inicial%20de%20375%20mil>. Acesso em: 22 abr. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Governo Federal (org.). **Conferência das Partes**. [s.d.]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/conferencia-das-partes.html>. Acesso em: 22 abr. 2024.

BRASIL. **Pesquisa de Satisfação dos Beneficiários do Programa Minha Casa Minha Vida**, Gov, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/3298/1/Pesquisa%20de%20satisfa%C3%A7%C3%A3o%20dos%20benefici%C3%A1rios%20do%20Programa%20Minha%20Casa%20Minha%20Vida.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2024.

BRASIL. **Relatório de Avaliação PMCMV**, Gov, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/cgu/pt-br/assuntos/noticias/2021/04/cgu-divulga-prestacao-de-contas-do-presidente-da-republica-de-2020/relatorio-de-avaliacao-pmcmv.pdf/view>. Acesso em: 18 jul. 2024.

BREEAM. **Why BREEAM**, BREEAM, [s.d.]a. Disponível em: <https://breeam.com/about/why-breeam>. Acesso em: 14 jun. 2024.

BREEAM. **How BREEAM Works**, BREEAM, [s.d.]b. Disponível em: <https://breeam.com/about/how-breeam-works>. Acesso em: 14 jun. 2024.

BREEAM PROJECTS. **Explore The Data Behind Breeam Projects**, BREEAM, [s.d.]. Disponível em: <https://tools.breeam.com/projects/explore/index.jsp>. Acesso em: 29 abr. 2025.

CABEZA, Luisa F.; ÜRGE-VORSATZ, Diana. **The role of buildings in the energy transition in the context of the climate change challenge**, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2589791820300268>. Acesso em: 10 maio 2024.

CABEZA, Luisa F.; Q. Bai, P. Bertoldi, J.M. Kihila, A.F.P. Lucena, É. Mata, S. Mirasgedis, A. Novikova, Y. Saheb. Buildings, 2022. In IPCC, **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.011. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/chapter/chapter-9/>. Acesso em: 21 maio 2024.

CAIXA. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (Brasil). **Guia Selo Casa Azul + CAIXA**. Brasília, 2024. 42 p. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_casa_azul/guia-selo-casa-azul-caixa.pdf. Acesso em: 20 jun. 2024.

CAIXA. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (Brasil). **Selo Casa Azul + CAIXA: boas práticas para uma habitação mais sustentável**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/negocios-sustentaveis/selo-casa-azul-caixa/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 20 jun. 2024.

CB3E. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. **Nota Técnica RI 10-2022-02**. 2022. Disponível em: https://labeec.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/RI%2010-2022-02.pdf. Acesso em: 15 jan. 2025

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Apresentação Externa Selo 2020**. 2020. Disponível em: https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2020/08/Apresenta%C3%A7%C3%A3o-Externa-Selo2020_v002-3.pdf. Acesso em: 29 abr. 2025.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Certificação Casa Azul Caixa promovendo sustentabilidade na construção habitacional**. 2024. Disponível em: <https://cbic.org.br/certificacao-casa-azul-caixa-promovendo-sustentabilidade-na-construcao-habitacional/>. Acesso em: 29 abr. 2025.

CALLEJAS-OCHOA, L.; MARÍN-ECHEVERRI, M.; PUERTA-SEPÚLVEDA, M.; ARROYAVE-MOLINA, V.; SILVA-NEVES, M. Cambio climático y confort térmico en la vivienda de interés social colombiana. **Revista Hábitat Sustentable**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 68–83, 2023. Disponível em: <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/5676>. Acesso em: 22 maio 2024.

CAMPANA, Ana Claudia Marangoni Batista et al. A importância do sistema de gestão ambiental para obtenção de selos sustentáveis na construção civil: Uma revisão narrativa. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s. l.], v. 11, p. 3, 2022. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/12381. Acesso em: 20 jun. 2024.

CHEN, J.; LIU, Y.; PAN, T.; CIAIS, P.; MA, T.; LIU, Y.; YAMAZAKI, D.; GE, Q.; PEÑUELAS, J. Global socioeconomic exposure of heat extremes under climate change. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 277, p. 123275, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652620333205>. Acesso em: 24 maio 2024.

CORCUERA, Daniela. **Workshop – Curso para EDGE Experts**. 2023a. Formato *on line* síncrono. [s.n.].

CORCUERA, Daniela. EDGE Faculty. **Consultoria**. 2023b. [S.l.: s.n.].

CORCUERA, Daniela. EDGE Faculty. **Consultoria**. 2024. [S.l.: s.n.].

CUNHA, G. M. da. **Elementos de arquitetura de climatização natural: método projetual buscando a eficiência energética nas edificações**. 2. ed. Florianópolis: [s.n.], 2006.

DESIGNBUILDER (Reino Unido). **Product Overview**. [s.d]. Disponível em: <https://designbuilder.co.uk/software/product-overview>. Acesso em: 09 jun. 2025.

DfGE. Designing for Greater Efficiency. **Curso EDGE – Plataforma Learn**. 2025. Disponível em: https://learn.edgebuildings.com/mod/scorm/player.php?a=36¤torg=articulate_rise&sco_id=72&sesskey=Bc2ZQS4sMY&display=popup&mode=normal. Acesso em: 3 mar. 2025.

DING, Grace K.C. Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 86, n. 3, p. 451–464, 2008. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479706004270>. Acesso em: 14 maio 2024.

DIXIT, Manish Kumar; KUMAR, Pranav Pradeep; HAGHIGHI, Omid. **Embodied water analysis of higher education buildings using an input-output-based hybrid method**, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652622024593>. Acesso em: 21 maio 2024.

DOAN, Dat Tien *et al.* A critical comparison of green building rating systems. **Building and Environment**, [s. l.], v. 123, p. 243–260, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132317302937>. Acesso em: 14 jun. 2024.

EDGE. **Atualização Técnica EDGE nº 35: Carbono Incorporado**, Edgebuildings, 2023. Disponível em: <https://edgebuildings.com/resources/user-documents/>. Acesso em: 25 jun. 2024.

EDGE. **Methodology Version 2**. 2019. Disponível em: <https://edgebuildings.com/wp-content/uploads/2022/04/180709-EDGE-Methodology-Version-2.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2025.

EDGE. **Guia do Usuário EDGE**, Edgebuildings, 2021. Disponível em: <https://edgebuildings.com/wp-content/uploads/2022/07/2022001613BRAbra001.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2023.

EDGE. **Part 3 – User Guide Energy Measures (Version 3)**. 2024a. Disponível em: <https://edgebuildings.com/wp-content/uploads/2024/11/Part-3-User-Guide-Energy-Measures-Rev-1.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2025.

EDGE. **Part 4 – User Guide Water Measures (Version 3)**. 2024b. Disponível em: <https://edgebuildings.com/wp-content/uploads/2024/11/Part-4-User-Guide-Water-Measures-Rev-1.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2025.

EDGE. **Part 5 – User Guide Material Measures (Version 3)**. 2024c. Disponível em: <https://edgebuildings.com/wp-content/uploads/2024/11/Part-5-User-Guide-Material-Measures-Rev-1.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2025.

EDGE. **Part 2 – User Guide Design Tab (Version 3)**. 2024d. Disponível em: <https://edgebuildings.com/wp-content/uploads/2024/11/Part-2-User-Guide-Design-Tab-Rev-1.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2025.

EDGE. **Part 1 – User Guide Building Certification Guidance (Version 3)**. 2024e. Disponível em: <https://edgebuildings.com/wp-content/uploads/2024/12/Part-1-EDGE-Building-Certification-Guidance-Rev-1.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2025.

EDGE. **User Documents**. 2025. Disponível em: <https://edgebuildings.com/resources/user-documents/>. Acesso em: 15 abr. 2025.

EDGE *app*. **Edge all buildings**, EDGE, 2024. Disponível em: <https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings>. Acesso em: 25 jun. 2024.

EDGE *app*. **Edge all buildings**, EDGE, 2025. Disponível em: <https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ENERGYPLUS. U.s. Department Of Energy's (Doe) Building Technologies Office (BTO). **EnergyPlus**. [s.d]. Disponível em: <https://energyplus.net/>. Acesso em: 09 jun. 2025.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). Ministério de Minas e Energia (MME). **Relatório Síntese 2024: ano base 2023**. Brasília – DF: Empresa de Pesquisa Energética, 2024. 71 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>. Acesso em: 09 jul. 2024.

EQUEST (EUA). **The Quick Energy Simulation Tool**. [s.d]. Disponível em: <https://www.doe2.com/equest/>. Acesso em: 09 jun. 2025.

ESTRATÉGIA ODS (Brasil). **O que são os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável?** [s.d.]. Disponível em: <https://www.estrategiaods.org.br/conheca-os-ods/>. Acesso em: 18 dez. 2023.

EUCLYDES, Fillipe Maciel *et al.* O processo de política pública do “Minha Casa, Minha Vida”: criação, desenvolvimento e extinção. **Revista de Sociologia e Política**, [s. l.], v. 30, 2022. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-44782022000100217&tlng=pt. Acesso em: 16 jul. 2024.

FALCHETTA, G.; DE CIAN, E.; WING, I. S.; CARR, D. Global projections of heat exposure of older adults. **Nature Communications**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 3678, 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-024-47197-5>. Acesso em: 23 maio 2024.

FERREIRA, André Luís; SILVA, Felipe Barcellos e. Universalização do acesso ao serviço público de energia elétrica no Brasil: evolução recente e desafios para a Amazônia Legal. **Revista Brasileira de Energia**, [s. l.], v. 27, n. 3, 2021. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/645>. Acesso em: 19 jan. 2023.

FLORES, Rafael A.; GHISI, Enedir. Water Benchmarking in Buildings: A Systematic Review on Methods and Benchmarks for Water Conservation. **Water**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 473, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/3/473>. Acesso em: 6 jun.

2024.

FONTES, Cristiane. **Tragic Flooding in Brazil; a Wake-up Call for the World**, WRI Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.wri.org/insights/tragic-flooding-brazil-building-resilience>. Acesso em: 24 mai. 2024.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Certificação AQUA-HQE: Selo de Responsabilidade Ambiental Ganha Destaque em Empreendimentos Residenciais**, Vanzolini, 2022. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/noticias/certificacao-aqua-hqe-selo-de-responsabilidade-ambiental-ganha-destaque-em-empreendimentos-residenciais/>. Acesso em: 19 jun. 2024.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **AQUA-HQE™: sobre a certificação**. SOBRE A CERTIFICAÇÃO. [s.d.]. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/organizacoes/certificacoes/aqua-hqe/>. Acesso em: 19 jun. 2024.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Obter Certificação AQUA-HQE**, Vanzolini, 2024. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/noticias/obter-certificacao-aqua-hqe/>. Acesso em: 19 jun. 2024.

GBCBRASIL. **Entendendo o Carbono nas Construções**, GBCBrasil, 2023a. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/entendendo-o-carbono-nas-construcoes/>. Acesso em: 17 mai. 2024.

GBCBRASIL. **Anuário GBC Brasil 2023**, 2023b. Disponível em: https://www.gbcbrasil.org.br/anuario-gbc-brasil-2023/#flipbook-df_15121/12/. Acesso em: 17 jun. 2024.

GBCBRASIL. **Comunidade do Aço**. 2024. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/comunidade-do-aco/>. Acesso em: 25 fev. 2025.

GOOGLE MAPS. **Mapa da Cidade de Belém**. Belém, 2025. 1 mapa digital. 1: 5 km. Disponível em: https://www.google.com/maps/@-1.3589951,-48.5466103,35203m/data=!3m1!1e3!4m3!11m2!2s94DoBwolgQRzQcVq5CbmaO3jpHVMIAl3e1?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDYxNi4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D. Acesso em: 18 jun. 2025.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/0B1EIl1g8FdfUOEMtQzRCdUFUX2c/view?resourcekey=0-AN4t4J2ophUPu37ItDw_Jg. Acesso em: 16 jul. 2024.

GONÇALVES, M. A. et al. **Study on the thermal behavior of new construction materials**. 2024. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359431123014084>. Acesso em: 22 fev. 2024.

GRÜNBERG, Paula Regina Mendes; MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; TAVARES, Sergio Fernando. **Certificação ambiental de habitações: comparação entre LEED for Homes, Processo Aqua e Selo Casa Azul**. Ambiente & Sociedade, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 195–214, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2014000200013&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 3 maio 2024.

HABERT, G.; MILLER, S. A.; JOHN, V. M.; PROVIS, J. L.; FAVIER, A.; HORVATH, A.;

SCRIVENER, K. L. Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. **Nature Reviews Earth & Environment**, [s. l.], v. 1, n. 11, p. 559–573, 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s43017-020-0093-3> Acesso em: 17 jan. 2024.

HOXHA, E.; HABERT, G.; LASVAUX, S.; CHEVALIER, J.; LE ROY, R.. Influence of construction material uncertainties on residential building LCA reliability. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 144, p. 33–47, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095965261632131X>. Acesso em: 29 maio 2024.

HOSSEINIAN, S. Mahdi; NEZAMOLESLAMI, Reza. **Water footprint and virtual water assessment in cement industry: A case study in Iran**, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095965261732838X>. Acesso em: 21 maio 2024.

HUANG, B.; GAO, X.; XU, X.; SONG, J.; GENG, Y.; SARKIS, J.; FISHMAN, T.; KUA, H.; NAKATANI, J.. A Life Cycle Thinking Framework to Mitigate the Environmental Impact of Building Materials. **One Earth**, [s. l.], v. 3, n. 5, p. 564–573, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2590332220305406>. Acesso em: 24 maio 2024.

IBPSA-USA (USA). **BEST Directory**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.ibpsa.us/best-directory-list/>. Acesso em: 09 jun. 2025.

IEA. International Agency Energy. **Final energy consumption of buildings relative to other sectors**, IEA, 2023a. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/final-energy-consumption-of-buildings-relative-to-other-sectors-2022>. Acesso em: 10 jul. 2024.

IEA. International Agency Energy. **Global CO2 emissions from buildings, including embodied emissions from new construction**, IEA50, 2023b. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-from-buildings-including-embodied-emissions-from-new-construction-2022>. Acesso em: 10 jul. 2024.

IEA. International Agency Energy. **Buildings**, IEA50, 2023c. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/buildings#tracking>. Acesso em: 10 jul. 2024.

HEMA. INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (Brasil). **Exclusão elétrica na Amazônia Legal: quem ainda está sem acesso à energia elétrica?**. São Paulo, SP: [s. n.], 2020. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2021/02/relatorio-amazonia-2021-bx.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2024.

HEMA. INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (Brasil). **Assessment of Resources for the Universalization of Electrical Energy Access in the Legal Amazon**. São Paulo, SP: HEMA, 2023. 15 p. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/produto/assessment-of-resources-for-the-universalization-of-electrical-energy-access-in-the-legal-amazon>. Acesso em: 09 jul. 2024.

IFC. INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION. **EDGE APP**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://app.edgebuildings.com/user/login>. Acesso em: 24 jun. 2024.

INMETRO. **Portaria Nº 309, de 6 de setembro de 2022**. Edificações – Notas Técnicas. 2022a. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/Notas%20Tecnicas/Port_309_2022_Edificacoes_Retificada_NT02_0.pdf. Acesso em: 30 abr. 2025.

INMETRO. **Qual o objetivo do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE?** 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/aceso-a-informacao/perguntas-frequentes/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem-pbe/qual-o-objetivo-do-programa-brasileiro-de-etiquetagem-pbe>. Acesso em: 21 jun. 2024.

INMETRO. **Anexo da Portaria nº 309/2022 do INMETRO.** 2022c. Disponível em: https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual%20RAC_Cat%C3%A1logo%20de%20propriedades_DEZ-22.pdf. Acesso: 15 jan. 2025.

INMETRO. **Tabelas de Eficiência Energética**, Gov, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/edificacoes>. Acesso em: 24 jun. 2024.

ISIMBI, Delphine; PARK, Jihyun. The Analysis of the EDGE Certification System on Residential Complexes to Improve Sustainability and Affordability. **Buildings**, [s. l.], v. 12, n. 10, p. 1729, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/10/1729>. Acesso em: 23 ago. 2023.

ISO. **ISO 52000-1: Energy performance of buildings – Overarching EPB assessment.** 2017. Disponível em: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/656>. Acesso em: 11 mar. 2025

ISO. **ISO 52016-1: Energy performance of buildings – Calculation of energy needs for heating and cooling.** 2017. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/65696.html>. Acesso em: 11 mar. 2025.

ISTIL, Seyda Adiguzel; GÓRECKI, Jarosław; DIEMER, Arnaud. **Study on Certification Criteria of Building Energy and Environmental Performance in the Context of Achieving Climate Neutrality**, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/3/2770>. Acesso em: 10 maio 2024.

JIMÉNEZ-EXPÓSITO, Rosa Ana et al. Promoting Sustainable and Resilient Constructive Patterns in Vulnerable Communities: Habitat for Humanity's Sustainable Housing Prototypes in El Salvador. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 352, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/1/352>. Acesso em: 26 mar. 2024.

KRAUSE, Cleandro Henrique *et al.* **Comunicados do Ipea 118: O Planejamento da habitação de interesse social no Brasil: desafios e perspectivas.** s.l: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2011. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/4497> . Acesso em: 18 dez. 2023.

KRAUSE, Cleandro; BALBIM, Renato; LIMA NETO, Vicente Correia. **Minha Casa Minha Vida, nosso crescimento: Onde fica política habitacional?**, ECONSTOR, 2013. Disponível em: <https://www.econstor.eu/handle/10419/91386> . Acesso em: 17 jul. 2024.

LAMBERTS, R.; MELO, A. P.; TRIANA, M. A.; MACHADO, R. M. e S.; KAMIMURA, A. M.; BRACHT, M. K. . **Produto 5 – Eficiência energética em edificações.** 2020. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/PRODUTO5_v2.pdf. Acesso em: 17 jan. 2025.

LAZAR, Nina; CHITHRA, K. **A comprehensive literature review on development of Building Sustainability Assessment Systems.** Journal of Building Engineering, [s. l.], v. 32,

p. 101450, 2020. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352710219325628>. Acesso em: 18 jun. 2024.

LEÃO, Adriano Souza *et al.* Is the Soil-Cement Brick an Ecological Brick? An Analysis of the Life Cycle Environmental and Energy Performance of Masonry Walls. **Sustainability**, [s. l.], v. 14, n. 19, p. 12735, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/12735>. Acesso em: 14 fev. 2024.

LI, Shaoliang; ZHENG, Xiazhong; ZENG, Qin. **Can Green Finance Drive the Development of the Green Building Industry?—Based on the Evolutionary Game Theory**, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/17/13134>. Acesso em: 7 maio 2024.

LIANG, Lihua *et al.* Rectify the performance of Green Building Rating Tool (GBRT) in sustainability: Evidence from ISO 21929-1. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 278, p. 123378, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652620334235>. Acesso em: 18 jun. 2024.

LÜTHI, S.; FAIRLESS, C.; FISCHER, E. M.; SCOVRONICK, N.; ARMSTRONG, B.; DE SOUSA ZANOTTI STAGLIORIO COELHO, M.; GUO, Y. L.; GUO, Y.; HONDA, Y.; HUBER, V.; KYSELÝ, J.; LAVIGNE, E.; ROYÉ, D.; RYTI, N.; SILVA, S.; URBAN, A.; GASPARRINI, A.; BRESCH, D. N.; VICEDO-CABRERA, A. M. Rapid increase in the risk of heat-related mortality. **Nature Communications**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 4894, 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-023-40599-x>. Acesso em: 22 maio 2024.

MAGALHÃES, R. S. de; SANTANA, W. B.; MAUÉS, L. M. F.; CHAVES, G. I. F. (2024). Análise do consumo de água e energia de uma construção verde residencial vertical na Amazônia: Analysis of water and energy consumption in a vertical green residential building in the Amazon. **MIX Sustentável**, 10(1), 93–108. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.93-108>. Acesso em: 26 abr. 2025.

MARCHI, Lia; ANTONINI, Ernesto; POLITI, Stefano. **Green Building Rating Systems (GBRSs)**, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-8392/1/4/76>. Acesso em: 14 jun. 2024.

MARCELO, Sandra Cristina. **Avaliação da eficiência energética em edifícios comerciais**. Universidade de Lisboa, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ulisboa.pt/handle/10451/28281>. Acesso em: 11 mar. 2025.

MARQUES, António; JANUÁRIO, João Frágoso; CRUZ, Carlos Oliveira. Sustainability Certifications in Real Estate: Value and Perception. **Buildings**, [s. l.], v. 14, n. 12, p. 3823, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/12/3823>. Acesso em: 25 abr. 2025.

MARINOVA, S.; DEETMAN, S.; VAN DER VOET, E.; DAI OGLOU, V. Global construction materials database and stock analysis of residential buildings between 1970-2050. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 247, p. 119146, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652619340168>. Acesso em: 24 maio 2024.

MARZOUK, Osama A. Zero Carbon Ready Metrics for a Single-Family Home in the Sultanate of Oman Based on EDGE Certification System for Green Buildings. **Sustainability**,

[s. l.], v. 15, n. 18, p. 13856, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/18/13856>. Acesso em: 25 mar. 2024.

MEENA, C. S.; KUMAR, A.; JAIN, S.; UR REHMAN, A.; MISHRA, S.; SHARMA, N. K.; BAJAJ, M.; SHAFIQ, M.; TAG ELDIN, E. Innovation in Green Building Sector for Sustainable Future. **Energies**, [s. l.], v. 15, n. 18, p. 6631, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/18/6631>. Acesso em: 2 maio 2024.

MIATTO, A.; SCHANDL, H.; FISHMAN, T.; TANIKAWA, H. Global Patterns and Trends for Non-Metallic Minerals used for Construction. **Journal of Industrial Ecology**, [s. l.], v. 21, n. 4, p. 924–937, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jiec.12471>. Acesso em: 5 jun. 2024.

MIATTO, A.; SCHANDL, H.; FORLIN, L.; RONZANI, F.; BORIN, P.; GIORDANO, A.; TANIKAWA, H. A spatial analysis of material stock accumulation and demolition waste potential of buildings: A case study of Padua. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 142, p. 245–256, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344918304671>. Acesso em: 4 jun. 2024.

MMA. **Acordo de Paris**, MMA, [s.d.]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>. Acesso em: 10 mai. 2024.

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: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000100503&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 9 out. 2024.

ONU. **The Paris Agreement**, UN, [s.d.]. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>. Acesso em: 10 mai. 2024.

ONU BRASIL. **Articulando os Programas de Governo com a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Orientações para organizações políticas e a cidadania**. 2018. Disponível em: https://www.cidadessustentaveis.org.br/arquivos/Publicacoes/articulando_programas_de_governos_com_agenda_2030.pdf. Acesso em: 18/12/2023.

ONU BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Nações Unidas Brasil. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso 18/12/2023.

PARÁ. Assessoria de Comunicação - Ascom. **Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade - Semas. Belém é oficialmente confirmada como sede da COP 30 em 2025**. 2023. Governo do Estado do Pará. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2023/12/11/belem-e-oficialmente-confirmada-como-sede-da-cop-30-em-2025/>. Acesso em: 22 abr. 2024.

PBE EDIFICA (Brasil). **Início**. [s.d.]a. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/sobre>. Acesso em: 21 jun. 2024.

PBE EDIFICA (Brasil). **Portaria Consolidada**. [s.d.]b. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/portariaconsolidada>. Acesso em: 30 abr. 2024.

PBE EDIFICA (Brasil). **Como obter a etiqueta**. [s.d.]c. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/como-obter>. Acesso: 01. Mai. 2025

PBE EDIFICA (Brasil). Conhecendo a Etiqueta PBE Edifica. [s.d.]d. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>. Acesso: 01. Mai. 2025

PBE EDIFICA (Brasil). **Manual para etiquetagem de edificações públicas**. 2014. Disponível em: https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual_Etiquetagem_Edificacoes_Publicas.pdf. Acesso em: 20 jun. 2024.

PICCOLI, R.; KERN, A. P.; GONZÁLEZ, M. A.; HIROTA, E. H A certificação de desempenho ambiental de prédios: exigências usuais e novas atividades na gestão da construção. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 69–79, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212010000300005&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 19 jun. 2024.

PIRES, Elane Azevedo; CALEGARE, Marcelo Gustavo Aguiar. A habitação de interesse social no Brasil e sua expressão em Manaus. **Novos Cadernos NAEA**, [s. l.], v. 20, n. 3, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/4202>. Acesso em: 2 jan. 2023.

PRASEEDA, K.I.; REDDY, B.V. Venkatarama; MANI, M. Embodied and operational energy of urban residential buildings in India. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 110, p. 211–219, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778815303121>. Acesso em: 24 maio 2024.

PROJETEEE. **Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Dados Climáticos – Belém (PA)**. 2016. Disponível em: http://www.mme.gov.br/projeteee/dados-climaticos/?cidade=PA+-+Bel%C3%A9m&id_cidade=bra_pa_belem-ribeiro.intl.ap.821930_try.1964. Acesso em: 15 jan. 2025.

PROJETEEE. **Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Componentes Construtivos**. 2024. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/componentes-construtivos/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

PROJETEEE. **Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Componentes Construtivos**. 2025. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/componentes-construtivos/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

QUALHARINI, Eliane et al. **Critérios de sustentabilidade na construção civil**. 2020. Disponível em: <https://www.nppg.org.br/cirmare2020/wp-content/uploads/1.Artigos/241.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2025.

REIS, Ricardo Prado Abreu *et al.* Influence of the number of residents and climatic factors on residential water consumption. **Water Supply**, [s. l.], v. 23, n. 4, p. 1626–1640, 2023. Disponível em: <https://iwaponline.com/ws/article/23/4/1626/93932/Influence-of-the-number-of-residents-and-climatic>. Acesso em: 7 jun. 2024.

ROCCARO, P.; FALCIGLIA, P. P.; VAGLIASINDI, F. G. A. Effectiveness of water saving devices and educational programs in urban buildings. **Water Science and Technology**, [s. l.],

v. 63, n. 7, p. 1357–1365, 2011. Disponível em:

<https://iwaponline.com/wst/article/63/7/1357/14176/Effectiveness-of-water-saving-devices-and>. Acesso em: 6 jun. 2024.

ROCHA, A. D.; VULOVA, S.; FÖRSTER, M.; GIOLI, B.; MATTHEWS, B.; HELFTER, C.; MEIER, F.; STEENEVELD, G.-J.; BARLOW, J. F.; JÄRVI, L.; CHRYSOULAKIS, N.; NICOLINI, G.; KLEINSCHMIT, B. Unprivileged groups are less served by green cooling services in major European urban areas. **Nature Cities**, [s. l.], 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s44284-024-00077-x>. Acesso em: 22 maio 2024.

SANTANA, Wylliam Bessa; MAUÉS, Luiz Maurício Furtado. **Environmental Protection Is Not Relevant in the Perceived Quality of Life of Low-Income Housing Residents: A PLS-SEM Approach in the Brazilian Amazon**. Sustainability, [s. l.], v. 14, n. 20, p. 13171, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/20/13171>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SANTANA, William. **Modelo para Promover a Adoção de Selos de Construções Verdes no Brasil e Proposta de uma Técnica de Modelagem Estrutural Interpretativa Validade**, UFPA, Belém, 2021.

SANTANA, W. B.; PEREIRA, L. M.; FREIRES, F. G. M.; MAUÉS, L. M. Analysis of the barriers to the adoption of green buildings labels in Brazil by the validated Interpretative Structural Modeling (VISM) technique. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 414, p. 137642, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652623018000>. Acesso em: 24 jan. 2024.

SANTANA, Wylliam Bessa; MOREIRA, Felipe de Sá; MAUÉS, Luiz Maurício Furtado; HOLANDA, Gabriela Costa. Contribuições das construções verdes para o atendimento aos objetivos para o desenvolvimento sustentável (ODS). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2024. p. 1–9. DOI: 10.46421/entac.v20i1.5802. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/5802>. Acesso em: 16 maio. 2025.

SANTAMOURIS, M.; VASILAKOPOULOU, K. Present and Future Energy Consumption of Buildings: Challenges and Opportunities towards Decarbonisation. **e-Prime**, [s. l.], p. 100002, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772671121000024#sec0012>. Acesso em: 4 dez. 2023.

SANTOS, Ruani Burock dos; COSTA, Camilla Manzano; BRASIL, Paula de Castro. **Sustentabilidade nas edificações comerciais: uma abordagem da certificação AQUA - Alta Qualidade Ambiental**. Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, v. 3, n. 2, p. 177-185, fev. 2015. ISSN 2318-1109. Disponível em: <https://seer.atitus.edu.br/index.php/arqimed/article/view/735/541>. Acesso em: 26 jun. 2024. doi: <https://doi.org/10.18256/2318-1109/arqimed.v3n2p177-185>.

SATOLA, D.; RÖCK, M.; HOULIHAN-WIBERG, A.; GUSTAVSEN, A. Life Cycle GHG Emissions of Residential Buildings in Humid Subtropical and Tropical Climates: Systematic Review and Analysis. **Buildings**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 6, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/11/1/6>. Acesso em: 4 maio 2024.

SCHANDL, H.; FISCHER-KOWALSKI, M.; WEST, J.; GILJUM, S.; DITTRICH, M.; EISENMENGER, N.; GESCHKE, A.; LIEBER, M.; WIELAND, H.; SCHAFFARTZIK, A.; KRAUSMANN, F.; GIERLINGER, S.; HOSKING, K.; LENZEN, M.; TANIKAWA, H.; MIATTO, A.; FISHMAN, T. Global Material Flows and Resource Productivity: Forty Years

of Evidence. **Journal of Industrial Ecology**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 827–838, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jiec.12626>. Acesso em: 29 maio 2024.

SEVERINO, Antonio. **Metodologia do trabalho científico**, Cortez Editora, São Paulo, 2007.

SHAN, Ming; HWANG, Bon-gang. **Green building rating systems: Global reviews of practices and research efforts**, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210670717314567>. Acesso em: 26 jun. 2024.

SHARMA, Anoop Kumar; CHANI, P.S.. **Embodied water-energy nexus towards sustainable building construction: Case of conventional Indian houses**, 2024. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352710224000202>. Acesso em: 6 maio 2024.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. e atual. Florianópolis: UFSC, 2005. Acesso em: 16 jul. 2024.

SOUSA, Vitor; SILVA, Cristina Matos; MEIRELES, Inês. **Performance of water efficiency measures in commercial buildings**, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344919300138>. Acesso em: 7 jun. 2024.

TAYLOR, Cameron et al. Delivering Sustainable Housing through Material Choice. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 3331, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/4/3331>. Acesso em: 15 fev. 2025.

TEIXEIRA; LAMBERTS. Análise de usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro. In: , 2020, Palhoça. **Anais do VIII Encontro de Sustentabilidade em Projeto**. Palhoça: [s. n.], 2020. p. 319–329

UNEP (2016). **Global material flows and resource productivity**. An assessment study of the UNEP International Resource Panel. H. Schandl, M. Fischer-Kowalski, J. West, S. Giljum, M. Dittrich, N. Eisenmenger, A. Geschke, M. Lieber, HP Wieland, A. Schaffartzik, F. Krausmann, S. Gierlinger, K. Hosking, M. Lenzen, H. Tanikawa, A. Miatto, and T. Fishman. Paris, United Nations Environment Programme. Disponível em : <https://www.resourcepanel.org/pt/relat%C3%B3rios/fluxos-de-materiais-globais-e-link-de-banco-de-dados-de-produtividade-de-recursos>. Acesso em : 05 jun. 2024

UNEP, United Nations Environment Programme. **Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector**. Nairóbi: United Nations Environment Programme, 2024a. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/45095>. Acesso em: 18 abr. 2024.

UNEP. **Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes**, UNEP, 2024b. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44901>. Acesso em: 24 mai. 2024.

UNFCCC. **The Paris Agreement**: What is the Paris Agreement?, UNFCCC, [s.d.]. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. Acesso em: 16 mai. 2024.

UGREEN. **Etiqueta Procel PBE-Edifica: Uma Alternativa Para Construções Sustentáveis**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/etiqueta-procel-pbe-edifica-uma-alternativa-para-construcoes-sustentaveis/>. Acesso em: 21 jun. 2024.

U.S. Department of Energy. **OpenStudio**: OpenStudio is an open-source software development kit (SDK) for energy modeling with EnergyPlus. 2014. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/openstudio>. Acesso em: 09 jun. 2025.

USGBC. **Mission & Vision**, [s.d.]a. Disponível em: <https://www.usgbc.org/about/mission-vision>. Acesso em: 14 jun. 2024.

USGBC. **LEED**, [s.d.]b. Disponível em: <https://www.usgbc.org/leed>. Acesso em: 14 jun. 2024

USGBC. **Projects**, [s.d.]c. Disponível em: <https://www.usgbc.org/projects>. Acesso em: 18 jun. 2024.

VEIGA, Clara Zibetti Matuella; SOUZA, Larissa Pereira de; LAMBERTS, Roberto. Análise da influência da orientação solar em habitações de interesse social para diferentes climas do Brasil. *In:* , 2023, Florianópolis, SC. (Imaginar o Brasil Editora, Org.) **Anais do VII Congresso Latino-Americano de Simulação de Edifícios - IBPSA LATAM 2023**. Florianópolis, SC: [s. n.], 2023. p. 239. Disponível em: https://ibpsa.org.br/misc/documentos/proceedingsIBPSALatamFlorianopolis2023/IBPSA_LATAM_2023_anais.pdf. Acesso em: 15 jan. 2025.

VELÁZQUEZ ROBLES, Jani F.; PICÓ, Eloi Coloma; HOSSEINI, S.M. Amin. Environmental performance assessment: A comparison and improvement of three existing social housing projects. **Cleaner Environmental Systems**, [s. l.], v. 5, p. 100077, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666789422000083>. Acesso em: 23 ago. 2023.

VICEDO-CABRERA, A. M.; SCOVRONICK, N.; SERA, F.; ROYÉ, D.; SCHNEIDER, R.; TOBIAS, A.; ASTROM, C.; GUO, Y.; HONDA, Y.; HONDULA, D. M.; ABRUTZKY, R.; TONG, S.; DE SOUSA ZANOTTI STAGLIORIO COELHO, M.; NASCIMENTO SALDIVA, P. H.; LAVIGNE, E.; MATUS CORREA, P.; VALDES ORTEGA, N.; KAN, H.; OSORIO, S.; KYSELÝ, J.; URBAN, A.; ORRU, H.; INDERMITTE, E.; J. J. K. JAAKKOLA; RYTI, N.; PASCAL, M.; SCHNEIDER, A.; KATSOUYANNA, K.; SAMOLI, E.; MAYVANEH, F.; ENTEZARI, A.; GOODMAN, P.; ZEKA, A.; MICHELOZZI, P.; DE'DONATO, F.; HASHIZUME, M.; ALAHMAD, B.; HURTADO DIAZ, M.; DE LA CRUZ VALENCIA, C.; OVERCENCO, A.; HOUTHUIJS, D.; AMELING, C.; RAO, S.; DI RUSCIO, F.; CARRASCO-ESCOBAR, G.; SEPOSO, X.; SILVA, S.; MADUREIRA, J.; HOLOBAKA, I. H.; FRATIANNI, S.; ACQUAOTTA, F.; KIM, H.; LEE, W.; INIGUEZ, C.; FORSBERG, B.; RAGETTLI, M. S.; GUO, Y. L. L.; CHEN, B. Y.; LI, S.; ARMSTRONG, B.; ALEMAN, A.; ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J.; DANG, T. N.; DUNG, D. V.; GILLET, N.; HAINES, A.; MENGEL, M.; HUBER, V.; GASPARRINI, A. The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 11, n. 6, p. 492–500, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-021-01058-x>. Acesso em: 24 maio 2024.

VIERRA, Stephanie. **Green Building Standards and Certification Systems**. 2023. The National Institute of Building Sciences. Whole Building Design Guide.. Disponível em: <https://www.wbdg.org/resources/green-building-standards-and-certification-systems>. Acesso em: 07 maio 2024.

WATARI, T.; CAO, Z.; CABRERA SERRENHO, A.; CULLEN, J, **Growing role of concrete in sand and climate crises**. *iScience*, [s. l.], v. 26, n. 5, p. 106782, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2589004223008593>. Acesso em: 5 jun. 2024.

WORLDGBC. **Sustainable Building Certifications**, WorldGBC, [s.d.]. Disponível em: <https://worldgbc.org/sustainable-building-certifications/>. Acesso em: 13 jun. 2024.

WORLD GREEN BUILDING TRENDS – WGBT. **Corporate World Green Building Trends 2021**. 2021. Disponível em: https://www.corporate.carrier.com/Images/Corporate-World-Green-Building-Trends-2021-1121_tcm558-149468.pdf. Acesso em: 25 jun. 2024.

WRI Brasil. **10 conclusões do Relatório do IPCC sobre Mudanças Climáticas de 2023**, WRI Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023>. Acesso em: 17 mai. 2024.

YIN, Robert. **Estudo de caso planejamento e métodos**, Bookman, Porto Alegre, 2001.

ZOU, Chenchen *et al.* Toward carbon free by 2060: A decarbonization roadmap of operational residential buildings in China. **Energy**, [s. l.], v. 277, p. 127689, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544223010836>. Acesso em: 27 mar. 2024.

APÊNDICE A

Este Apêndice A refere-se ao relatório de avaliação do Empreendimento A.






Avaliação do EDGE: v3.0.0
Data e hora do download: 2025-04-08 18:03
25.77% | -32.14% | 51.00%

Nome do projeto: [REDACTED]
Nome do subprojeto: Blocos Direção Noroeste – Versão AA

Detalhes do projeto

Nome do projeto	Endereço linha 1
[REDACTED]	[REDACTED]
Número de edifícios distintos	Endereço linha 2
44	
Número de subprojeto(s) EDGE associado(s)	Cidade
1	Belém
Área útil total do projeto (m²)	Estado/Município
32,665.6	Pará
Nome do proprietário do projeto	Código postal
	[REDACTED]
E-mail do proprietário do projeto	País
	Brazil
Número de telefone do proprietário do projeto	Número do projeto
Móvel -	1001847302
Share project name and basic information to potential investors or banks?	Você pretende certificar?
Sim	Não
Este projeto foi criado para fins de treinamento?	
Sim	
Subprojeto(s) Associado(s)	
Total de subprojetos associados: 1	
A lista completa dos subprojetos associados está disponível na última seção deste documento.	

Detalhes do subprojeto

Nome do subprojeto	Endereço linha 1
Blocos Direção Noroeste – Versão AA	[REDACTED]
Nome do edifício	Endereço linha 2
Bloco 41	
Multiplicador do subprojeto para o projeto	Cidade
44	Belém
Estágio da certificação	Estado/Município
Pós-construção	Pará
Status	Código postal
Self-Review	[REDACTED]
Auditor	País
	Brazil
Certificador	Tipo de subprojeto
	New Building
Número do arquivo	
25040810230550	

Informação de localização



Tipo de edifício

Tipo de construção principal
Apartamentos

Subtipo
Baixa renda

Dados da construção

Tipologia única

Padrão	Entrada do usuário
Área interna bruta (m²)	
742	
Número de quartos	
1	2
Nº total de apartamentos	
20	16
Área média do apartamento (m²/apartamento)	
60	46.4
Nº total de apartamentos	20
Nº de andares acima do nível	
8	4
Nº de andares abaixo do nível	
2	0
Altura de piso a piso (m)	
3.0	2.75
Aggregate Roof Area (m²)	
186	209.22

Detalhes operacionais

Padrão	Entrada do usuário
Ocupação (m²/pessoa)	
3	
Custos de construção	
Custo de construção (BRL/m2)	
1,295.6	
Valor de venda estimado (BRL/m2)	
1,839.7	

Desagregação de Área e Cargas

Área interna bruta/apartamento (m²)		Padrão	Entrada do usuário
46.4			
Padrão (m²/apartamento)	Entrada do usuário (m²/apartamento)	Área com iluminação externa (m²)	
		288	8,431.12
Dormitório		Área de estacionamento externa (m²)	
11.6	17.0	-	4,061.25
Cozinha		Water End Uses	
4.6	9.6	Área irrigada (m²)	
Refeitório		96	0
4.6	0	Tipo de piscina (m²)	
Sala de estar		Piscina coberta aquecida e piscina ao ar livre não aquecida	Nenhum
7.0	10.3		
Banheiro		Piscina (m²)	
2.3	4.2	20	0
Lavanderia		Car Washing	
0.9	0	Sim	Não
Sacada		Washing Clothes	
0.5	0	Sim	Sim
Estacionamento interno de veículos		Process Water	
13.9	0	Não	Não
Corredor, Escadaria, Elevador		Water Use (Lts/Day)	
0.9	5.3	Dishwasher	
		Sim	Não
		Pre Rinse Spray Valve	
		Sim	Não

Dimensões do edifício

Padrão Comprimento do edifício (m)	Entrada do usuário (m)	Área da fachada exposta ao ar externo (%)
Norte 7.0	0	100
Nordeste 7.0	18.172	100
Leste 7.0	0	100
Sudeste 7.0	25.60	100
Sul 7.0	0	100
Sudoeste 7.0	18.172	100
Oeste 7.0	0	100
Noroeste 7.0	25.60	100

Sistema de climatização do edifício

Selecione o tipo de entrada

Entradas simplificadas

O projeto do edifício inclui sistema de ar condicionado?
Não

O projeto do edifício inclui sistema de aquecimento de ambiente?
Não

O projeto do edifício inclui compra de água resfriada e fornecimento de aquecimento (resfriamento ou aquecimento distrital)?

Nenhum

Linha de base aplicável
EDGE

Período de resfriamento	Período de aquecimento	Período de resfriamento	Período de aquecimento
Jan Sim	Jan Sim	Jul Sim	Jul Sim
Fev Sim	Fev Sim	Ago Sim	Ago Sim
Mar Sim	Mar Sim	Set Sim	Set Sim
Abr Sim	Abr Sim	Out Sim	Out Sim
Sim	Sim	Nov Sim	Nov Sim
Jun Sim	Jun Sim	Dez Sim	Dez Sim

Uso de combustível

Padrão		Custos	
Entrada do usuário		Entrada do usuário	
Água quente	Eletricidade	Eletricidade (BRL/kWh)	0.77
Eletricidade			
Aquecedor de ambiente	Eletricidade	Diesel (BRL/Lt)	2.45
Eletricidade			
Gerador	Diesel	Gás natural (BRL/kg)	4.81
Diesel			
% de geração de eletricidade usando diesel	0	GLP (BRL/kg)	4.81
1.00%			
Combustível usado para cozinhar	GLP	Carvão (BRL/kg)	0.3
Eletricidade			
Fator de emissão de CO ₂		Óleo combustível (BRL/Lt)	1.3
Padrão	Entrada do usuário		
Eletricidade (kg de CO ₂ /kWh)		Água (BRL/KL)	2.36
0.15			
Diesel (kg de CO ₂ /kWh)		Conversão de dólar americano (BRL/dólar norte-americano)	4.29
0.25			
Gás natural (kg de CO ₂ /kWh)			
0.18			
GLP (kg de CO ₂ /kWh)			
0.24			
Carvão (kg de CO ₂ /kWh)			
0.32			
Óleo combustível (kg de CO ₂ /kWh)			
0.25			

Dados climáticos

Padrão	Entrada do usuário	Padrão	Entrada do usuário
Elevação (m)		Latitude (graus)	
13		2	
Chuva (mm/ano)		Zona Climática ASHRAE	
2,039		0A	0A

Temperatura (°C)

Padrão (Máx. mensal)	Entrada do usuário (Máx. mensal)	Padrão (Máx. mensal)	Entrada do usuário (Máx. mensal)
Jan	Jan	Jul	Jul
33.6		32.9	
Fev	Fev	Ago	Ago
32.7		33.1	
Mar	Mar	Set	Set
32.0		33.0	
Abr	Abr	Out	Out
32.3		33.0	
		Nov	Nov
33.2		33.6	
Jun	Jun	Dez	Dez
33.2		33.2	
Padrão (Mínimo mensal)	Entrada do usuário (Mínimo mensal)	Padrão (Mínimo mensal)	Entrada do usuário (Mínimo mensal)
Jan	Jan	Jul	Jul
21.8		22.6	
Fev	Fev	Ago	Ago
21.9		22.6	
Mar	Mar	Set	Set
22.2		21.7	
Abr	Abr	Out	Out
22.0		22.8	
		Nov	Nov
22.6		22.2	
Jun	Jun	Dez	Dez
22.0		22.6	

Dados climáticos

Umidade relativa (%)

Padrão (Média mensal)	Entrada do usuário (Média mensal)	Padrão (Média mensal)	Entrada do usuário (Média mensal)
Jan 72.3%	Jan	Jul 79.8%	Jul
Fev 75.3%	Fev	Ago 81.8%	Ago
Mar 76.7%	Mar	Set 83.3%	Set
Abr 80.2%	Abr	Out 78.7%	Out
78.2%		Nov 78.0%	Nov
Jun 82.5%	Jun	Dez 76.4%	Dez

Velocidade do vento (m/s)

Padrão (Média mensal)	Entrada do usuário (Média mensal)	Padrão (Média mensal)	Entrada do usuário (Média mensal)
Jan 3.2	Jan	Jul 3.6	Jul
Fev 3.1	Fev	Ago 3.9	Ago
Mar 3.0	Mar	Set 3.9	Set
Abr 3.0	Abr	Out 3.9	Out
3.1		Nov 3.9	Nov
Jun 3.5	Jun	Dez 3.4	Dez

Nome do projeto:
Nome do subprojeto: Blocos Direção Noroeste – Versão AA

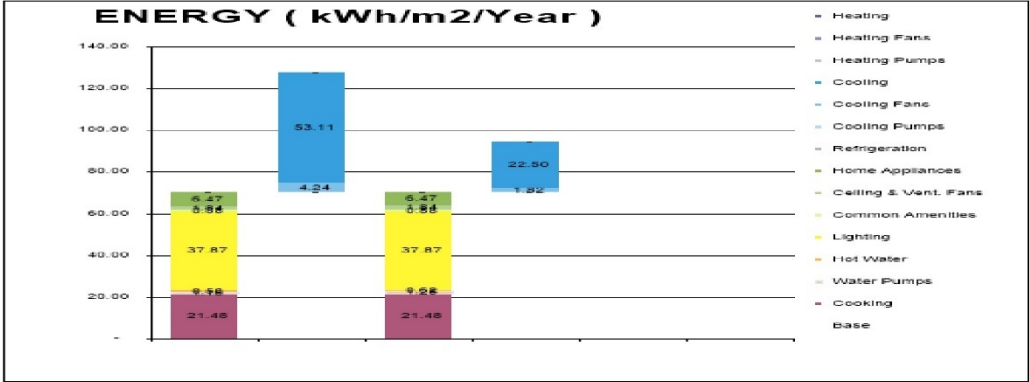
Data e hora do download: 2025-04-08 18:03
25.77% | -32.14% | 51.00%

Resultados

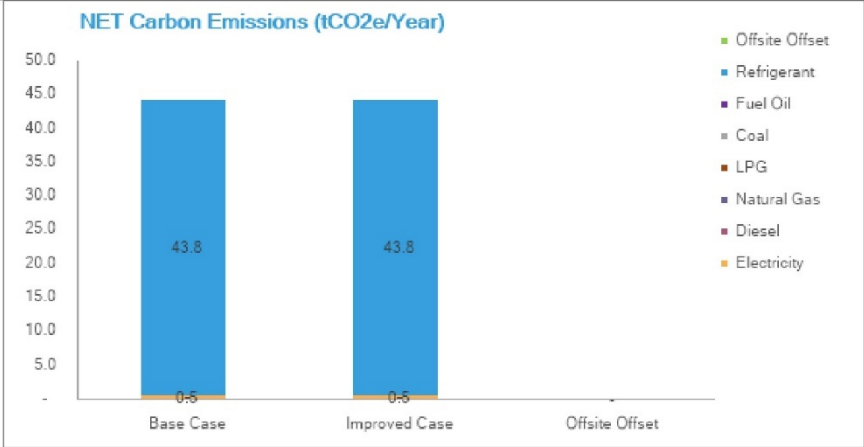
Consumo final de energia (kWh/mês/apartamento)	EPI de caso melhorado (kWh/m²/Ano)
272	71.0
Consumo final de água (m³/mês/apartamento)	Custo total de construção do edifício (Million BRL/Apartment)
16	0.1
Emissões operacionais finais de CO ₂ (tCO ₂ /mês/apartamento)	Custo incremental (Million BRL/Apartment)
0.04	-0.00
Final Embodied Carbon (Kg CO ₂ e/m²)	% de aumento no custo
241	-2.90%
Custo final dos serviços de água e luz (BRL/Month/Apartment)	Tempo de retorno financeiro (Anos)
248	-
Área útil do subprojeto (m²)	Número de pessoas impactadas (Nº/Ano)
32,665.6	2,112
Economia de energia (MWh/Ano)	Base Case - Refrigerant Global Warming Potential (tCO ₂ e/Year/Apartment)
-3.27	43.8
Economia de água (m³/Ano)	Improved Case - Refrigerant Global Warming Potential (tCO ₂ e/Year/Apartment)
-33,333.91	43.8
Economia operacional de CO ₂ (tCO ₂ /Ano)	
-	
Embodied Carbon Savings (tCO ₂ e)	
348,261.85	
Economia de custos de serviços públicos em dólares americanos (Dólar americano/ano/Apartment)	
-1,182.50	
Economia de custos de serviços públicos em moeda local (Million BRL/Year/Apartment)	
-0.005	
EPI do Caso Base (kWh/m²/Ano)	
71.0	

ECONOMIA DE ENERGIA

Medidas de eficiência energética 25.77% Atende aos padrões de energia da EDGE



Emissões líquidas de carbono: 44.3
tCO₂e/Year/Apartment



Medidas de eficiência energética 25.77%

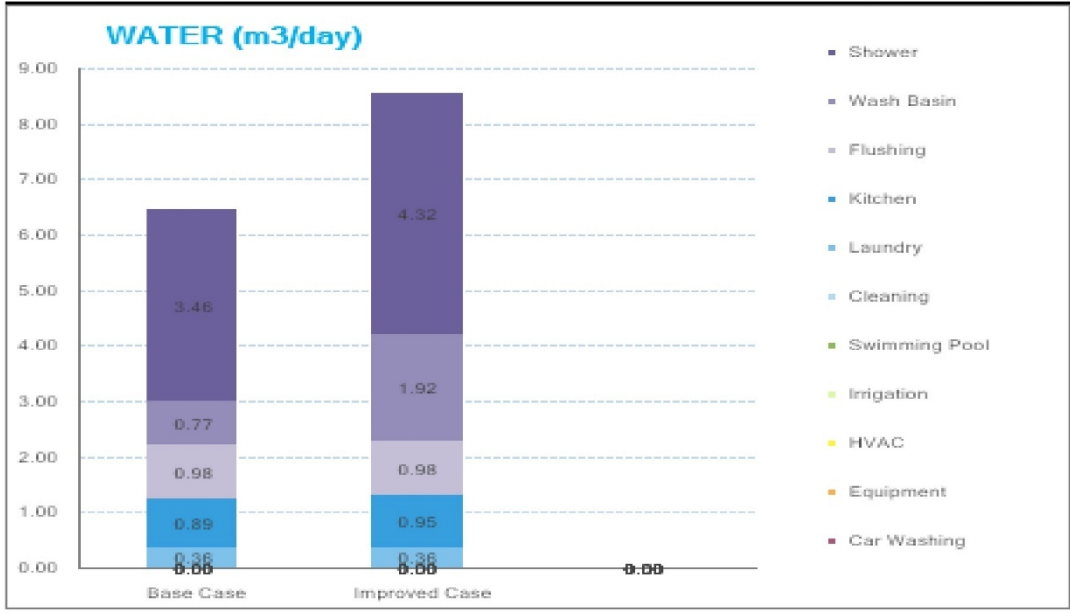
- ✓ EEM01* Razão janela-parede: 9.37%
Valor do caso base: 20%
WWR (%): 9.37
- ✓ EEM02 Telhado Reflexivo: Índice de refletância solar 32
Valor do caso base: 45
SRI: 32
- ✓ EEM03 Paredes externas reflexivas: Índice de refletância solar 55
Valor do caso base: 45
SRI: 55.00
- ✓ EEM04 Dispositivos de sombreamento externo: Fator de sombreamento médio anual (AASF) 0.13
- ✓ EEM05* Isolamento do telhado: Valor U 0.88 W/m²·K
Valor do caso base: 2.3 W/m²·K
Valor U (W/m²·K): 0.88
- ✓ EEM06* Isolamento da laje térrea/elevada: Valor U 1.27 W/m²·K
Valor do caso base: 0.49 W/m²·K
Valor U (W/m²·K): 1.27
Edge Insulation Type: Nenhum
- EEM07 Telhado verde
- ✓ EEM08* Isolamento das paredes externas: Valor U 4.47 W/m²·K
Valor do caso base: 2.5 W/m²·K
Valor U (W/m²·K): 4.47
- ✓ EEM09* Eficiência do vidro: Valor U 5.7 W/m²·K, CGCS 0.52 e VT 0.85
Valor do caso base: 5.75 W/m²·K & CGCS 0.8 & VT 0.7
W/m²·K: 5.70 VT (Fator): 0.85
SHGC: 0.52
- EEM10 Infiltração de ar do envelope: 50% de redução
- ✓ EEM11 Ventilação natural
Abertura da fachada do caso base: 0%
- EEM12 Ventiladores de teto
- EEM13* Eficiência do sistema de resfriamento: COP (W/W) 3.63
- EEM14 Acionamentos de velocidade variável

Medidas de eficiência energética 25.77%

EEM15 Sistema de pré-condicionamento de ar fresco: Eficiência 65%	EEM26 Ventilação de controle de demanda para estacionamento usando sensores de CO																
EEM16* Eficiência do Sistema de aquecimento do espaço: COP 3.68	EEM29 Geladeiras e máquinas de lavar roupa eficientes																
EEM17 Controles de aquecimento ambiente com válvulas termostáticas	EEM30 Submedidores para sistemas de aquecimento e/ou resfriamento																
✓ EEM18 Sistema de água quente doméstico (DHW) : Solar 0%, Bomba de calor 0%, Caldeira 0% Uso de AQ por aquecimento solar do Caso Base: 0% Base Case Hot Water Heater Usage: 0% Base Case Hot Water Heater Efficiency: 100%	EEM31 Medidores inteligentes para energia																
<table><tr><td>Uso padrão de água quente (%)</td><td>Uso de água quente (%) (inserido pelo usuário)</td><td>Padrão</td><td>Entrada do usuário</td></tr><tr><td>Solar 50%</td><td>0</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Bomba de calor 50%</td><td>0</td><td>3.00</td><td>COP</td></tr><tr><td>Caldeira 0%</td><td>0</td><td>100%</td><td>% de eficiência</td></tr></table>	Uso padrão de água quente (%)	Uso de água quente (%) (inserido pelo usuário)	Padrão	Entrada do usuário	Solar 50%	0			Bomba de calor 50%	0	3.00	COP	Caldeira 0%	0	100%	% de eficiência	EEM32 Correções do fator de potência
Uso padrão de água quente (%)	Uso de água quente (%) (inserido pelo usuário)	Padrão	Entrada do usuário														
Solar 50%	0																
Bomba de calor 50%	0	3.00	COP														
Caldeira 0%	0	100%	% de eficiência														
EEM19 Sistema de pré-aquecimento de água quente doméstico	EEM33 Energia renovável no local: 25% do Uso anual de energia																
EEM20 Economizadores	EEM34 Outras medidas de economia de energia																
EEM21 Ventilação de controle de demanda usando sensores de CO ₂	EEM35 Aquisição de energia renovável externa: 100% do CO ₂ operacional anual																
EEM22 Iluminação eficiente para áreas internas	EEM36 Compensações de Carbono: 100% CO ₂ Operacional Anual																
EEM23 Iluminação eficiente para áreas externas	EEM37 Refrigeradores de baixo impacto																
EEM24 Controles de iluminação																	

ECONOMIA DE ÁGUA

Medidas de eficiência no uso da água -32.14%



Medidas de eficiência no uso da água -32.14%

- ✓

WEM01 Chuveiros com eficiência hídrica: 15 L/min
Valor do caso base: 12 L/min
Tipo de banheira: Chuveiros Taxa de fluxo (L/min): 15 Fornecimento de água quente: Bath Tub: Não
Não
- ✓

WEM02* Torneiras com eficiência hídrica para todos os banheiros: 20 L/min
Valor do caso base: 8 L/min
Tipo de torneira de água: Faucets with Taxa de fluxo (L/min): 20 Fornecimento de água quente: Não
Aerators
- ✓

WEM04* Efficient Water Closets for All Bathrooms: 6 L/flush
Valor do caso base: 6 L/descarga
Tipo de sanitário: Lavagem única Descarga de alto volume (L/min):
6
- WEM06 Bidê com economia hídrica: 2 L/min
- ✓

WEM08* Torneiras com economia hídrica para pias de cozinha: 12 L/min
Valor do caso base: 10 L/min
Fornecimento de água quente: Não Taxa de fluxo (L/min): 12

Medidas de eficiência no uso da água -32.14%

WEM09 Máquinas de lavar louça com economia hídrica: 10 L/Cycle

WEM10 Válvulas de pulverização de pré-lavagem com economia hídrica para cozinha: 3.75 L/min

WEM11 Máquinas de lavar com economia hídrica: 35 L/Ciclo

WEM12 Coberturas de piscina: 30% de área coberta

WEM13 Sistema de irrigação paisagística com economia hídrica: 4 L/m²/dia

WEM14 Sistema de captação de água da chuva: 7 m² da área do telhado usada para coleta

WEM15 Sistema de tratamento e reciclagem de águas residuais: 100% tratado

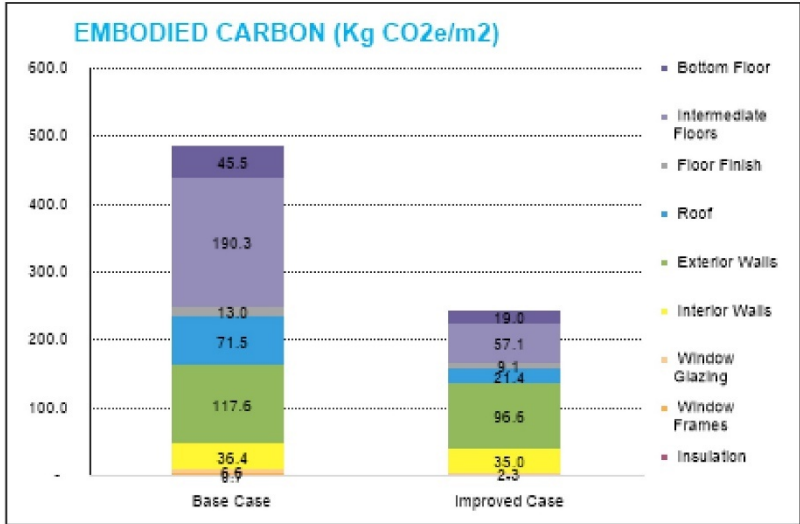
WEM16 Recuperação de água condensada: 100% de recuperação

WEM17 Medidores hídricos inteligentes

EMBODIED CARBON SAVINGS

Medidas de eficiência em Materiais 51.00%

Meets EDGE Material Standard



Medidas de eficiência em Materiais 51.00%

Nome do projeto:
Nome do subprojeto: Blocos Direção Noroeste – Versão AA

Data e hora do download: 2025-04-08 18:03
25.77% | -32.14% | 51.00%

Seleção do caso melhorado	Material de construção	Proporção %	Espessura (mm)	Valor U (W/m²·K)	Embodied Carbon(kg/m²)
MEM01* Construção do piso inferior Base Case Material: Concrete Slab In-situ Reinforced Conventional Slab Espessura: 100mm & Steel : 35kg/m²	Tipo 1 Laje de Concreto Laje de enchimento com blocos de poliestireno	100 %	150	1.27	
MEM02* Construção de piso intermediário Base Case Material: Concrete Slab In-situ Reinforced Conventional Slab Espessura: 250mm & Steel : 35kg/m²	Tipo 1 Laje de Concreto Laje de enchimento com blocos de poliestireno	100 %	150		
MEM03* Acabamento do piso Material do caso base: Azulejo Placas de cerâmica Espessura: 10mm	Tipo 1 Azulejo Telhas de cerâmica	100 %	7		
MEM04* Construção do telhado Material do caso base: Laje de Concreto Laje Convencional Reforçada In-situ Espessura: 250mm & Steel : 35kg/m²	Tipo 1 Laje de Concreto Laje de enchimento com blocos de poliestireno	100 %	150	0.88	
MEM05* Paredes externas Base Case Material: Brick Wall Solid brick (0-25% voids) with external and internal plaster Espessura: 150mm	Tipo 1 Concreto In-Situ Muro de Concreto Armado	100 %	200	2.49	
MEM06* Paredes internas Material do caso base: Parede de tijolos Tijolo maciço (0-25% de vazios) com gesso externo e interno	Tipo 1 Concreto In-Situ Muro de Concreto Armado	100 %	140		

Medidas de eficiência em Materiais 51.00%

Seleção do caso melhorado	Material de construção	Proporção %	Espessura (mm)	Valor U (W/m²·K)	Embodied Carbon(kg/m²)
MEM07* Esquadrias da Janela Material do caso base: Alumínio	Tipo 1 Alumínio	100 %			
MEM08* Vidros de Janelas Base Case Material: Single Glazing Espessura: 8mm	Tipo 1 Envidraçamento simples	100 %	6	2.15	
MEM09* Isolamento do telhado Base Case Material: X - No insulation Espessura: 0mm	Tipo 1 X - Sem Isolamento	100 %			
MEM10* Isolamento da parede Material do caso base: X - Sem isolamento Espessura: 0mm	Tipo 1 X - Sem Isolamento	100 %			
MEM11* Isolamento do piso Base Case Material: Polystyrene Foam Spray or Board Insulation Espessura: 54.9mm	Tipo 1 X - Sem Isolamento	100 %			



Nome do projeto: [Redacted]
Nome do subprojeto: Blocos Direção Noroeste – Versão AA

Apartamentos 
Avaliação do EDGE: v3.0.0
Data e hora do download: 2025-04-08 18:03
25.77% | -32.14% | 51.00%

Subprojeto(s) Associado(s)

Número de série.	Nome do subprojeto associado	País	Cidade
1	Blocos Direção Noroeste – Versão AA	Brazil	Belém

APÊNDICE B

Este Apêndice B refere-se ao relatório de avaliação do Empreendimento B.




Apartamentos 

Avaliação do EDGE: v3.0.0

Data e hora do download: 2025-04-09 15:20

38.55% | -32.78% | 72.00%

Nome do projeto: [REDACTED]

Nome do subprojeto: Bloco Direção Nordeste - Versão BB

Detalhes do projeto

Nome do projeto	Endereço linha 1
[REDACTED]	[REDACTED]
Número de edifícios distintos	Endereço linha 2
11	
Número de subprojeto(s) EDGE associado(s)	Cidade
1	Belém
Área útil total do projeto (m²)	Estado/Município
19,008	Pará
Nome do proprietário do projeto	Código postal
	[REDACTED]
E-mail do proprietário do projeto	País
	Brazil
Número de telefone do proprietário do projeto	Número do projeto
Móvel -	1001848485
Share project name and basic information to potential investors or banks?	Você pretende certificar?
Sim	Não
Este projeto foi criado para fins de treinamento?	
Sim	
Subprojeto(s) Associado(s)	
Total de subprojetos associados: 1	
A lista completa dos subprojetos associados está disponível na última seção deste documento.	

Detalhes do subprojeto

Nome do subprojeto	Endereço linha 1
Bloco Direção Nordeste - Versão BB	[REDACTED]
Nome do edifício	Endereço linha 2
Bloco 01	
Multiplicador do subprojeto para o projeto	Cidade
11	Belém
Estágio da certificação	Estado/Município
Pós-construção	Pará
Status	Código postal
Self-Review	[REDACTED]
Auditor	País
	Brazil
Certificador	Tipo de subprojeto
	New Building
Número do arquivo	
24122110218884	

Informação de localização



Tipo de edifício

Tipo de construção principal
Apartamentos

Subtipo
Baixa renda

Dados da construção

Tipologia única		Detalhes operacionais	
Padrão	Entrada do usuário	Padrão	Entrada do usuário
Área interna bruta (m²)		Ocupação (m²/pessoa)	
1,728		3	
Número de quartos		Custos de construção	
1	2	Custo de construção (BRL/m2)	
Nº total de apartamentos	32	1,295.6	
Área média do apartamento (m²/apartamento)		Valor de venda estimado (BRL/m2)	
60	54.0	1,839.7	
Nº total de apartamentos	20		
Nº de andares acima do nível	4		
8			
Nº de andares abaixo do nível	0		
2			
Altura de piso a piso (m)	3.02		
3.0			
Aggregate Roof Area (m²)	450.62		
432			

Desagregação de Área e Cargas

Área interna bruta/apartamento (m²) 54.0		Padrão	Entrada do usuário
Padrão (m²/apartamento)	Entrada do usuário (m²/apartamento)	Área com iluminação externa (m²) 576	5,142.02
Dormitório 13.5	16.7	Área de estacionamento externa (m²) -	1,512
Cozinha 5.4	9.2	Water End Uses	
Refeitório 5.4	0	Área irrigada (m²) 192	0
Sala de estar 8.1	15.3	Tipo de piscina (m²) Piscina coberta aquecida e piscina ao ar livre não- aquecida	Nenhum
Banheiro 2.7	4.6	Piscina (m²) 20	0
Lavanderia 1.1	0	Car Washing Sim	Não
Sacada 0.5	0	Washing Clothes Sim	Sim
Estacionamento interno de veículos 16.2	0	Process Water Não	Não
Corredor, Escadaria, Elevador 1.1	8.2	Water Use (Lts/Day)	
		Dishwasher Sim	Não
		Pre Rinse Spray Valve Sim	Não

Dimensões do edifício

Padrão Comprimento do edifício (m)	Entrada do usuário (m)	Área da fachada exposta ao ar externo (%)
Norte 10.6	0	100
Nordeste 10.6	39.47	100
Leste 10.6	0	100
Sudeste 10.6	22.95	100
Sul 10.6	0	100
Sudoeste 10.6	39.47	100
Oeste 10.6	0	100
Noroeste 10.6	22.95	100

Sistema de climatização do edifício

Selecione o tipo de entrada

Entradas simplificadas

O projeto do edifício inclui sistema de ar condicionado?
Não

O projeto do edifício inclui sistema de aquecimento de ambiente?
Não

O projeto do edifício inclui compra de água resfriada e fornecimento de aquecimento (resfriamento ou aquecimento distrital)?
Nenhum

Linha de base aplicável
EDGE

Período de resfriamento	Período de aquecimento	Período de resfriamento	Período de aquecimento
Jan Sim	Jan Sim	Jul Sim	Jul Sim
Fev Sim	Fev Sim	Ago Sim	Ago Sim
Mar Sim	Mar Sim	Set Sim	Set Sim
Abr Sim	Abr Sim	Out Sim	Out Sim
Sim	Sim	Nov Sim	Nov Sim
Jun Sim	Jun Sim	Dez Sim	Dez Sim

Uso de combustível

Padrão		Custos		
Entrada do usuário		Entrada do usuário		
Água quente	Eletricidade	Eletricidade (BRL/kWh)		
Eletricidade		0.77		
Aquecedor de ambiente	Eletricidade	Diesel (BRL/Lt)		
Eletricidade		2.45		
Gerador	Diesel	Gás natural (BRL/kg)		
Diesel		4.81		
% de geração de eletricidade usando diesel	0	GLP (BRL/kg)		
1.00%		4.81		
Combustível usado para cozinhar	GLP	Carvão (BRL/kg)		
Eletricidade		0.3		
Fator de emissão de CO ₂		Óleo combustível (BRL/Lt)		
		1.3		
Padrão	Entrada do usuário	Água (BRL/KL)		
Eletricidade (kg de CO ₂ /kWh)		2.36		
0.15		Conversão de dólar americano (BRL/dólar norte-americano)		
Diesel (kg de CO ₂ /kWh)		4.29		
0.25				
Gás natural (kg de CO ₂ /kWh)				
0.18				
GLP (kg de CO ₂ /kWh)				
0.24				
Carvão (kg de CO ₂ /kWh)				
0.32				
Óleo combustível (kg de CO ₂ /kWh)				
0.25				

Dados climáticos

Padrão	Entrada do usuário	Padrão	Entrada do usuário
Elevação (m)		Latitude (graus)	
13		2	
Chuva (mm/ano)		Zona Climática ASHRAE	
2,039		0A	0A

Temperatura (°C)

Padrão (Máx. mensal)	Entrada do usuário (Máx. mensal)	Padrão (Máx. mensal)	Entrada do usuário (Máx. mensal)
Jan	Jan	Jul	Jul
33.6		32.9	
Fev	Fev	Ago	Ago
32.7		33.1	
Mar	Mar	Set	Set
32.0		33.0	
Abr	Abr	Out	Out
32.3		33.0	
		Nov	Nov
33.2		33.6	
Jun	Jun	Dez	Dez
33.2		33.2	
Padrão (Mínimo mensal)	Entrada do usuário (Mínimo mensal)	Padrão (Mínimo mensal)	Entrada do usuário (Mínimo mensal)
Jan	Jan	Jul	Jul
21.8		22.6	
Fev	Fev	Ago	Ago
21.9		22.6	
Mar	Mar	Set	Set
22.2		21.7	
Abr	Abr	Out	Out
22.0		22.8	
		Nov	Nov
22.6		22.2	
Jun	Jun	Dez	Dez
22.0		22.6	

Dados climáticos

Umidade relativa (%)

Padrão (Média mensal)	Entrada do usuário (Média mensal)	Padrão (Média mensal)	Entrada do usuário (Média mensal)
Jan 72.3%	Jan	Jul 79.8%	Jul
Fev 75.3%	Fev	Ago 81.8%	Ago
Mar 76.7%	Mar	Set 83.3%	Set
Abr 80.2%	Abr	Out 78.7%	Out
78.2%		Nov 78.0%	Nov
Jun 82.5%	Jun	Dez 76.4%	Dez

Velocidade do vento (m/s)

Padrão (Média mensal)	Entrada do usuário (Média mensal)	Padrão (Média mensal)	Entrada do usuário (Média mensal)
Jan 3.2	Jan	Jul 3.6	Jul
Fev 3.1	Fev	Ago 3.9	Ago
Mar 3.0	Mar	Set 3.9	Set
Abr 3.0	Abr	Out 3.9	Out
3.1		Nov 3.9	Nov
Jun 3.5	Jun	Dez 3.4	Dez

Nome do projeto:
Nome do subprojeto: Bloco Direção Nordeste - Versão BB

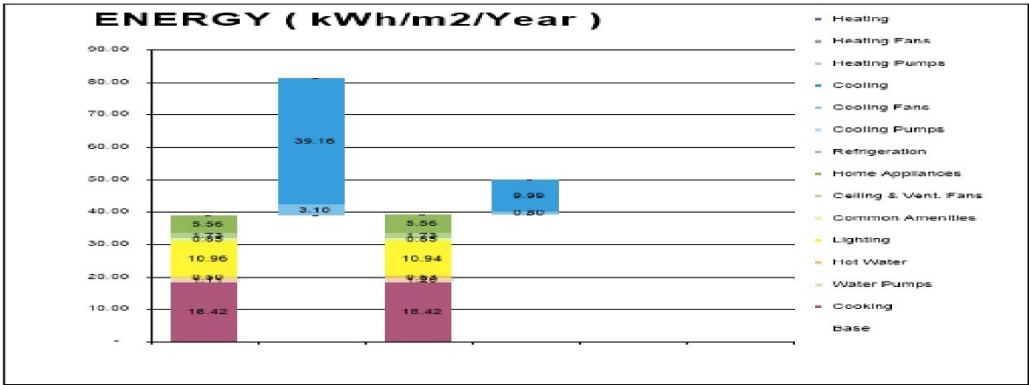
Data e hora do download: 2025-04-09 15:20
38.55% | -32.78% | 72.00%

Resultados

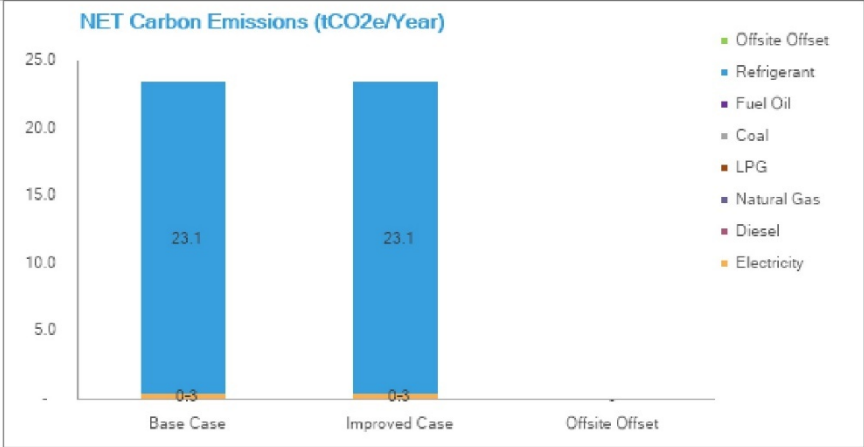
Consumo final de energia (kWh/mês/apartamento)	EPI de caso melhorado (kWh/m²/Ano)
177	40.0
Consumo final de água (m³/mês/apartamento)	Custo total de construção do edifício (Million BRL/Apartment)
16	0.1
Emissões operacionais finais de CO ₂ (tCO ₂ /mês/apartamento)	Custo incremental (Million BRL/Apartment)
0.03	0.00
Final Embodied Carbon (Kg CO ₂ e/m²)	% de aumento no custo
123	0.74%
Custo final dos serviços de água e luz (BRL/Month/Apartment)	Tempo de retorno financeiro (Anos)
174	-
Área útil do subprojeto (m²)	Número de pessoas impactadas (Nº/Ano)
19,008	1,056
Economia de energia (MWh/Ano)	Base Case - Refrigerant Global Warming Potential (tCO ₂ e/Year/Apartment)
-1.90	23.1
Economia de água (m³/Ano)	Improved Case - Refrigerant Global Warming Potential (tCO ₂ e/Year/Apartment)
-16,582.49	23.1
Economia operacional de CO ₂ (tCO ₂ /Ano)	
-	
Embodied Carbon Savings (tCO ₂ e)	
66,120.63	
Economia de custos de serviços públicos em dólares americanos (Dólar americano/ano/Apartment)	
-295.67	
Economia de custos de serviços públicos em moeda local (Million BRL/Year/Apartment)	
-0.001	
EPI do Caso Base (kWh/m²/Ano)	
40.0	

ECONOMIA DE ENERGIA

Medidas de eficiência energética 38.55% Atende aos padrões de energia da EDGE



Emissões líquidas de carbono: 23.4
tCO₂e/Year/Apartment



Medidas de eficiência energética 38.55%

- ✓ EEM01* Razão janela-parede: 12.25%
Valor do caso base: 20%
WWR (%): 12.25

✓ EEM02 Telhado Reflexivo: Índice de refletância solar 42
Valor do caso base: 45
SRI: 42

✓ EEM03 Paredes externas reflexivas: Índice de refletância solar 100
Valor do caso base: 45
SRI: 100

✓ EEM04 Dispositivos de sombreamento externo: Fator de sombreamento médio anual (AASF) 0.13

✓ EEM05* Isolamento do telhado: Valor U 1.1 W/m²·K
Valor do caso base: 2.3 W/m²·K
Valor U (W/m²·K): 1.10

✓ EEM06* Isolamento da laje térrea/elevada: Valor U 1.8 W/m²·K
Valor do caso base: 0.49 W/m²·K
Valor U (W/m²·K): 1.80
Edge Insulation Type: Nenhum

EEM07 Telhado verde

✓ EEM08* Isolamento das paredes externas: Valor U 3.21 W/m²·K
Valor do caso base: 2.5 W/m²·K
Valor U (W/m²·K): 3.21
- ✓ EEM09* Eficiência do vidro: Valor U 5.7 W/m²·K, CGCS 0.52 e VT 0.87
Valor do caso base: 5.75 W/m²·K & CGCS 0.8 & VT 0.7
W/m²·K: 5.7 VT (Fator): 0.87
SHGC: 0.52

EEM10 Infiltração de ar do envelope: 50% de redução

✓ EEM11 Ventilação natural
Abertura da fachada do caso base: 0%

EEM12 Ventiladores de teto

EEM13* Eficiência do sistema de resfriamento: COP (W/W) 3.63

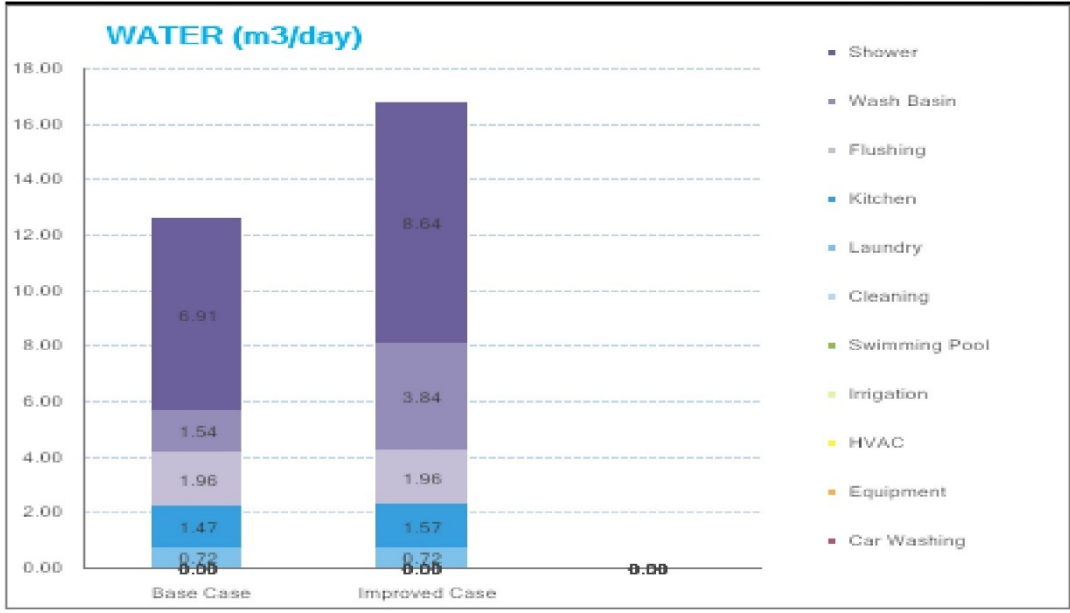
EEM14 Acionamentos de velocidade variável

Medidas de eficiência energética 38.55%

EEM15 Sistema de pré-condicionamento de ar fresco: Eficiência 65%	EEM26 Ventilação de controle de demanda para estacionamento usando sensores de CO																
EEM16* Eficiência do Sistema de aquecimento do espaço: COP 3.68	EEM29 Geladeiras e máquinas de lavar roupa eficientes																
EEM17 Controles de aquecimento ambiente com válvulas termostáticas	EEM30 Submedidores para sistemas de aquecimento e/ou resfriamento																
✓ EEM18 Sistema de água quente doméstico (DHW) : Solar 0%, Bomba de calor 0%, Caldeira 0%	EEM31 Medidores inteligentes para energia																
Uso de AQ por aquecimento solar do Caso Base: 0%	EEM32 Correções do fator de potência																
Base Case Hot Water Heater Usage: 0%	EEM33 Energia renovável no local: 25% do Uso anual de energia																
Base Case Hot Water Heater Efficiency: 100%	EEM34 Outras medidas de economia de energia																
<table><tr><td>Uso padrão de água quente (%)</td><td>Uso de água quente (%) (inserido pelo usuário)</td><td>Padrão</td><td>Entrada do usuário</td></tr><tr><td>Solar 50%</td><td>0</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Bomba de calor 50%</td><td>0</td><td>3.00</td><td>COP</td></tr><tr><td>Caldeira 0%</td><td>0</td><td>100%</td><td>% de eficiência</td></tr></table>	Uso padrão de água quente (%)	Uso de água quente (%) (inserido pelo usuário)	Padrão	Entrada do usuário	Solar 50%	0			Bomba de calor 50%	0	3.00	COP	Caldeira 0%	0	100%	% de eficiência	EEM35 Aquisição de energia renovável externa: 100% do CO2 operacional anual
Uso padrão de água quente (%)	Uso de água quente (%) (inserido pelo usuário)	Padrão	Entrada do usuário														
Solar 50%	0																
Bomba de calor 50%	0	3.00	COP														
Caldeira 0%	0	100%	% de eficiência														
EEM19 Sistema de pré-aquecimento de água quente doméstico	EEM36 Compensações de Carbono: 100% CO2 Operacional Anual																
EEM20 Economizadores	EEM37 Refrigeradores de baixo impacto																
EEM21 Ventilação de controle de demanda usando sensores de CO2																	
EEM22 Iluminação eficiente para áreas internas																	
EEM23 Iluminação eficiente para áreas externas																	
✓ EEM24 Controles de iluminação																	
Tipo de controle de iluminação: Ligar/Desligar Automático																	

ECONOMIA DE ÁGUA

Medidas de eficiência no uso da água -32.78%



Medidas de eficiência no uso da água -32.78%

- ✓

WEM01 Chuveiros com eficiência hídrica: 15 L/min

Valor do caso base: 12 L/min

Tipo de banheira: Chuveiros

Taxa de fluxo (L/min): 15

Fornecimento de água quente: Bath Tub: Não

Não
- ✓

WEM02* Torneiras com eficiência hídrica para todos os banheiros: 20 L/min

Valor do caso base: 8 L/min

Tipo de torneira de água: Faucets with Aerators

Taxa de fluxo (L/min): 20

Fornecimento de água quente: Não
- ✓

WEM04* Efficient Water Closets for All Bathrooms: 6 L/flush

Valor do caso base: 6 L/descarga

Tipo de sanitário: Lavagem única

Descarga de alto volume (L/min): 6
- WEM06 Bidê com economia hídrica: 2 L/min
- ✓

WEM08* Torneiras com economia hídrica para pias de cozinha: 12 L/min

Valor do caso base: 10 L/min

Fornecimento de água quente: Não

Taxa de fluxo (L/min): 12

Medidas de eficiência no uso da água -32.78%

- WEM09 Máquinas de lavar louça com economia hídrica: 10 L/Cycle

- WEM10 Válvulas de pulverização de pré-lavagem com economia hídrica para cozinha: 3.75 L/min

- WEM11 Máquinas de lavar com economia hídrica: 35 L/Ciclo

- WEM12 Coberturas de piscina: 30% de área coberta

- WEM13 Sistema de irrigação paisagística com economia hídrica: 4 L/m²/dia

- WEM14 Sistema de captação de água da chuva: 8 m² da área do telhado usada para coleta

- WEM15 Sistema de tratamento e reciclagem de águas residuais: 100% tratado

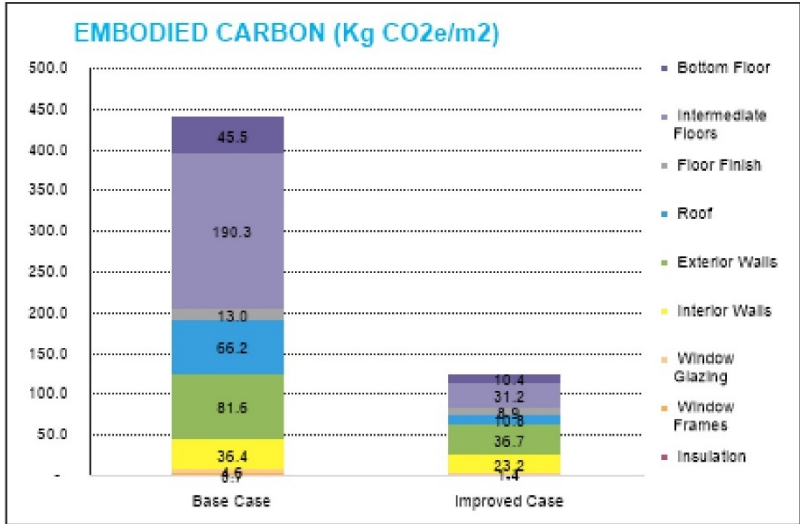
- WEM16 Recuperação de água condensada: 100% de recuperação

- WEM17 Medidores hídricos inteligentes

EMBODIED CARBON SAVINGS

Medidas de eficiência em Materiais 72.00%

Meets EDGE Material Standard



Medidas de eficiência em Materiais 72.00%

Nome do projeto:
Nome do subprojeto: Bloco Direção Nordeste - Versão BB

Data e hora do download: 2025-04-09 15:20
38.55% | -32.78% | 72.00%

Seleção do caso melhorado	Material de construção	Proporção %	Espessura (mm)	Valor U (W/m²·K)	Embodied Carbon(kg/m²)
MEM01* Construção do piso inferior Base Case Material: Concrete Slab In-situ Reinforced Conventional Slab Espessura: 100mm & Steel : 35kg/m²	Tipo 1 Laje de Concreto Laje de enchimento com blocos de poliestireno	100 %	120	1.80	
MEM02* Construção de piso intermediário Base Case Material: Concrete Slab In-situ Reinforced Conventional Slab Espessura: 250mm & Steel : 35kg/m²	Tipo 1 Laje de Concreto Laje de enchimento com blocos de poliestireno	100 %	120		
MEM03* Acabamento do piso Material do caso base: Azulejo Placas de cerâmica Espessura: 10mm	Tipo 1 Azulejo Telhas de cerâmica	100 %	6.8		
MEM04* Construção do telhado Material do caso base: Laje de Concreto Laje Convencional Reforçada In-situ Espessura: 250mm & Steel : 35kg/m²	Tipo 1 Laje de Concreto Laje de enchimento com blocos de poliestireno	100 %	120	1.10	
MEM05* Paredes externas Base Case Material: Brick Wall Solid brick (0-25% voids) with external and internal plaster Espessura: 150mm	Tipo 1 Blocos de Concreto Blocos ocos de peso médio	100 %	140	1.86	
MEM06* Paredes internas Material do caso base: Parede de tijolos Tijolo maciço (0-25% de vazios) com gesso externo e interno	Tipo 1 Concrete Blocks Hollow Blocks of Medium-weight	100 %	140		

Medidas de eficiência em Materiais 72.00%

Seleção do caso melhorado	Material de construção	Proporção %	Espessura (mm)	Valor U (W/m²·K)	Embodied Carbon(kg/m²)
MEM07* Esquadrias da Janela Material do caso base: Alumínio	Tipo 1 Alumínio	100 %			
MEM08* Vidros de Janelas Base Case Material: Single Glazing Espessura: 8mm	Tipo 1 Envidraçamento simples	100 %	4	2.87	
MEM09* Isolamento do telhado Base Case Material: X - No insulation Espessura: 0mm	Tipo 1 X - Sem Isolamento	100 %			
MEM10* Isolamento da parede Material do caso base: X - Sem isolamento Espessura: 0mm	Tipo 1 X - Sem Isolamento	100 %			
MEM11* Isolamento do piso Base Case Material: Polystyrene Foam Spray or Board Insulation Espessura: 54.9mm	Tipo 1 X - Sem Isolamento	100 %			



Apartamentos 
Avaliação do EDGE: v3.0.0

Nome do projeto: [REDACTED]
Nome do subprojeto: Bloco Direção Nordeste - Versão BB

Data e hora do download: 2025-04-09 15:20
38.55% | -32.78% | 72.00%

Subprojeto(s) Associado(s)

Número de série.	Nome do subprojeto associado	País	Cidade
1	Bloco Direção Nordeste - Versão BB	Brazil	Belém

APÊNDICE C

Este Apêndice C refere-se ao relatório de avaliação do Empreendimento C.



Avaliação do EDGE: v3.0.0

Data e hora do download: 2025-04-08 23:16

Nome do projeto: [Redacted]
Nome do subprojeto: Bloco Residencial direção Norte - Versão CC

35.12% | -33.69% | 58.00%

Detalhes do projeto

Nome do projeto	Endereço linha 1
Número de edifícios distintos	Endereço linha 2
19	
Número de subprojeto(s) EDGE associado(s)	Cidade
1	Belém
Área útil total do projeto (m²)	Estado/Município
15,747.2	Pará
Nome do proprietário do projeto	Código postal
E-mail do proprietário do projeto	País
	Brazil
Número de telefone do proprietário do projeto	Número do projeto
Móvel -	1001845784
Share project name and basic information to potential investors or banks?	Você pretende certificar?
Sim	Não
Este projeto foi criado para fins de treinamento?	
Sim	
Subprojeto(s) Associado(s)	
Total de subprojetos associados: 1	
A lista completa dos subprojetos associados está disponível na última seção deste documento.	

Detalhes do subprojeto

Nome do subprojeto	Endereço linha 1
Bloco Residencial direção Norte - Versão CC	
Nome do edifício	Endereço linha 2
Bloco 13	
Multiplicador do subprojeto para o projeto	Cidade
19	Belém
Estágio da certificação	Estado/Município
Pós-construção	Pará
Status	Código postal
Self-Review	
Auditor	País
	Brazil
Certificador	Tipo de subprojeto
	Existing Building
Número do arquivo	Ano de construção
25040710230383	2016



Nome do projeto:
Nome do subprojeto: Bloco Residencial direção Norte - Versão CC

Data e hora do download: 2025-04-08 23:16
35.12% | -33.69% | 58.00%

Dados das “Utilidades” da construção

Consumo Anual de Eletricidade Medida (kWh/Ano)	Índice atual de desempenho energético dos edifícios existentes (kWh/m²/Ano)
	-
Consumo Anual de Água Medida (m³/Ano)	Índice atual de desempenho do uso da água nos edifícios existentes
	-
Consumo Anual de Gás Natural Medido (m³/Ano)	Emissões de GEE de edifícios existentes (tCO₂/ano)
	-
Consumo anual de diesel medido (m³/Ano)	
Consumo Anual de LPG Medido (Kg/Ano)	

Informação de localização



Tipo de edifício

Tipo de construção principal	Subtipo
Apartamentos	Baixa renda



Nome do projeto: [REDACTED]
Nome do subprojeto: Bloco Residencial direção Norte - Versão CC

Data e hora do download: 2025-04-08 23:16
35.12% | -33.69% | 58.00%

Dados da construção

Tipologia única

Padrão	Entrada do usuário
Área interna bruta (m²)	
829	
Número de quartos	
1	2
Nº total de apartamentos	
20	16
Área média do apartamento (m²/apartamento)	
60	51.8
Nº total de apartamentos	20
Nº de andares acima do nível	
8	4
Nº de andares abaixo do nível	
2	0
Altura de piso a piso (m)	
3.0	2.78
Aggregate Roof Area (m²)	
207	213.37

Detalhes operacionais

Padrão	Entrada do usuário
Ocupação (m²/pessoa)	
3	
Custos de construção	
Custo de construção (BRL/m2)	
1,295.6	
Valor de venda estimado (BRL/m2)	
1,839.7	

Desagregação de Área e Cargas

Área interna bruta/apartamento (m²)		Padrão	Entrada do usuário
51.8			
Padrão (m²/apartamento)	Entrada do usuário (m²/apartamento)	Área com iluminação externa (m²)	
		288	5,010.35
Dormitório		Área de estacionamento externa (m²)	
13.0	17	-	1,431.90
Cozinha		Water End Uses	
5.2	6.3	Área irrigada (m²)	
Refeitório		96	0
5.2	0	Tipo de piscina (m²)	
Sala de estar		Piscina coberta aquecida e piscina ao ar livre não aquecida	Nenhum
7.8	16.4	Piscina (m²)	
Banheiro		20	0
2.6	3.9	Car Washing	
Lavanderia		Sim	Não
1.0	0	Washing Clothes	
Sacada		Sim	Sim
0.5	0	Process Water	
Estacionamento interno de veículos		Não	Não
15.5	0	Water Use (Lts/Day)	
Corredor, Escadaria, Elevador		Dishwasher	
1.0	8.20	Sim	Não
		Pre Rinse Spray Valve	
		Sim	Não

Dimensões do edifício

Padrão Comprimento do edifício (m)	Entrada do usuário (m)	Área da fachada exposta ao ar externo (%)
Norte 7.3	18.80	100
Nordeste 7.3	0	100
Leste 7.3	22.30	100
Sudeste 7.3	0	100
Sul 7.3	18.80	100
Sudoeste 7.3	0	100
Oeste 7.3	22.30	100
Noroeste 7.3	0	100

Sistema de climatização do edifício

Selecione o tipo de entrada

Entradas simplificadas

O projeto do edifício inclui sistema de ar condicionado?
Não

O projeto do edifício inclui sistema de aquecimento de ambiente?
Não

O projeto do edifício inclui compra de água resfriada e fornecimento de aquecimento (resfriamento ou aquecimento distrital)?
Nenhum

Linha de base aplicável
EDGE

Período de resfriamento	Período de aquecimento	Período de resfriamento	Período de aquecimento
Jan Sim	Jan Sim	Jul Sim	Jul Sim
Fev Sim	Fev Sim	Ago Sim	Ago Sim
Mar Sim	Mar Sim	Set Sim	Set Sim
Abr Sim	Abr Sim	Out Sim	Out Sim
Sim	Sim	Nov Sim	Nov Sim
Jun Sim	Jun Sim	Dez Sim	Dez Sim

Uso de combustível

Padrão		Custos	
Entrada do usuário		Entrada do usuário	
Água quente	Nenhum	Eletricidade (BRL/kWh)	0.77
Eletricidade			
Aquecedor de ambiente	Eletricidade	Diesel (BRL/Lt)	2.45
Eletricidade			
Gerador	Diesel	Gás natural (BRL/kg)	4.81
Diesel			
% de geração de eletricidade usando diesel	0	GLP (BRL/kg)	4.81
1.00%			
Combustível usado para cozinhar	GLP	Carvão (BRL/kg)	0.3
Eletricidade			
Fator de emissão de CO ₂		Óleo combustível (BRL/Lt)	1.3
Padrão	Entrada do usuário		
Eletricidade (kg de CO ₂ /kWh)		Água (BRL/KL)	2.36
0.15			
Diesel (kg de CO ₂ /kWh)		Conversão de dólar americano (BRL/dólar norte-americano)	4.29
0.25			
Gás natural (kg de CO ₂ /kWh)			
0.18			
GLP (kg de CO ₂ /kWh)			
0.24			
Carvão (kg de CO ₂ /kWh)			
0.32			
Óleo combustível (kg de CO ₂ /kWh)			
0.25			

Dados climáticos

Padrão	Entrada do usuário	Padrão	Entrada do usuário
Elevação (m)		Latitude (graus)	
13		2	
Chuva (mm/ano)		Zona Climática ASHRAE	
2,039		0A	0A

Temperatura (°C)

Padrão (Máx. mensal)	Entrada do usuário (Máx. mensal)	Padrão (Máx. mensal)	Entrada do usuário (Máx. mensal)
Jan	Jan	Jul	Jul
33.6		32.9	
Fev	Fev	Ago	Ago
32.7		33.1	
Mar	Mar	Set	Set
32.0		33.0	
Abr	Abr	Out	Out
32.3		33.0	
		Nov	Nov
33.2		33.6	
Jun	Jun	Dez	Dez
33.2		33.2	
Padrão (Mínimo mensal)	Entrada do usuário (Mínimo mensal)	Padrão (Mínimo mensal)	Entrada do usuário (Mínimo mensal)
Jan	Jan	Jul	Jul
21.8		22.6	
Fev	Fev	Ago	Ago
21.9		22.6	
Mar	Mar	Set	Set
22.2		21.7	
Abr	Abr	Out	Out
22.0		22.8	
		Nov	Nov
22.6		22.2	
Jun	Jun	Dez	Dez
22.0		22.6	

Dados climáticos

Umidade relativa (%)

Padrão (Média mensal)	Entrada do usuário (Média mensal)	Padrão (Média mensal)	Entrada do usuário (Média mensal)
Jan 72.3%	Jan	Jul 79.8%	Jul
Fev 75.3%	Fev	Ago 81.8%	Ago
Mar 76.7%	Mar	Set 83.3%	Set
Abr 80.2%	Abr	Out 78.7%	Out
78.2%		Nov 78.0%	Nov
Jun 82.5%	Jun	Dez 76.4%	Dez

Velocidade do vento (m/s)

Padrão (Média mensal)	Entrada do usuário (Média mensal)	Padrão (Média mensal)	Entrada do usuário (Média mensal)
Jan 3.2	Jan	Jul 3.6	Jul
Fev 3.1	Fev	Ago 3.9	Ago
Mar 3.0	Mar	Set 3.9	Set
Abr 3.0	Abr	Out 3.9	Out
3.1		Nov 3.9	Nov
Jun 3.5	Jun	Dez 3.4	Dez

Nome do projeto: [REDACTED]
Nome do subprojeto: Bloco Residencial direção Norte - Versão CC

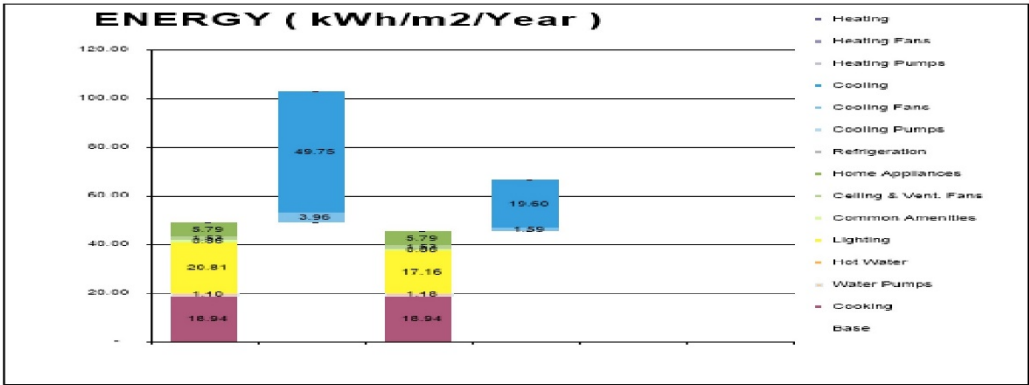
Data e hora do download: 2025-04-08 23:16
35.12% | -33.69% | 58.00%

Resultados

Consumo final de energia (kWh/mês/apartamento)	EPI de caso melhorado (kWh/m²/Ano)
196	46.0
Consumo final de água (m³/mês/apartamento)	Custo total de construção do edifício (Million BRL/Apartment)
15	0.1
Emissões operacionais finais de CO ₂ (tCO ₂ /mês/apartamento)	Custo incremental (Million BRL/Apartment)
0.03	0.02
Final Embodied Carbon (Kg CO ₂ e/m²)	% de aumento no custo
196	33.94%
Custo final dos serviços de água e luz (BRL/Month/Apartment)	Tempo de retorno financeiro (Anos)
188	36.1
Área útil do subprojeto (m²)	Número de pessoas impactadas (Nº/Ano)
15,747.2	912
Economia de energia (MWh/Ano)	Base Case - Refrigerant Global Warming Potential (tCO ₂ e/Year/Apartment)
56.69	19.8
Economia de água (m³/Ano)	Improved Case - Refrigerant Global Warming Potential (tCO ₂ e/Year/Apartment)
-14,223.87	19.8
Economia operacional de CO ₂ (tCO ₂ /Ano)	
8.44	
Embodied Carbon Savings (tCO ₂ e)	
78,647.17	
Economia de custos de serviços públicos em dólares americanos (Dólar americano/ano/Apartment)	
147.00	
Economia de custos de serviços públicos em moeda local (Million BRL/Year/Apartment)	
0.001	
EPI do Caso Base (kWh/m²/Ano)	
50.0	

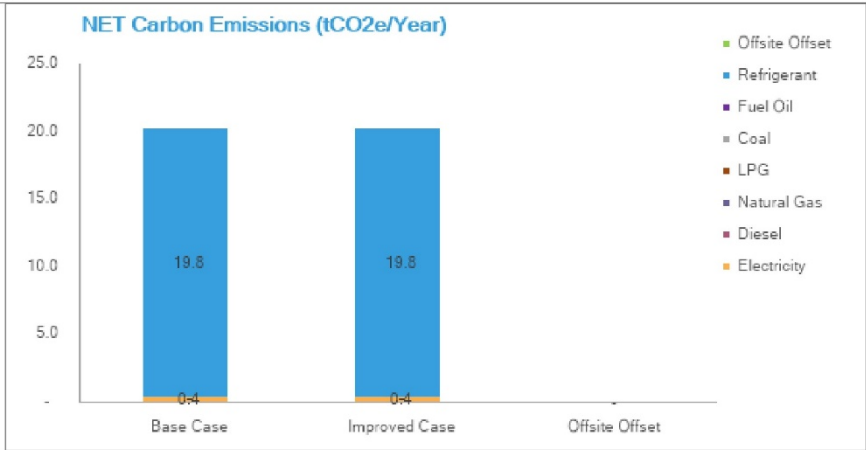
ECONOMIA DE ENERGIA

Medidas de eficiência energética 35.12% Atende aos padrões de energia da EDGE



Emissões líquidas de carbono: 20.1

tCO₂e/Year/Apartment



Medidas de eficiência energética 35.12%

- ✓ EEM01* Razão janela-parede: 10.49%
Valor do caso base: 20%
WWR (%): 10.49

✓ EEM02 Telhado Reflexivo: Índice de refletância solar 42
Valor do caso base: 45
SRI: 42

✓ EEM03 Paredes externas reflexivas: Índice de refletância solar 99
Valor do caso base: 45
SRI: 99

✓ EEM04 Dispositivos de sombreamento externo: Fator de sombreamento médio anual (AASF) 0.13

✓ EEM05* Isolamento do telhado: Valor U 2.57 W/m²·K
Valor do caso base: 2.3 W/m²·K
Valor U (W/m²·K): 2.57

✓ EEM06* Isolamento da laje térrea/elevada: Valor U 3.74 W/m²·K
Valor do caso base: 0.49 W/m²·K
Valor U (W/m²·K): 3.74
Edge Insulation Type: Nenhum

EEM07 Telhado verde

✓ EEM08* Isolamento das paredes externas: Valor U 4.58 W/m²·K
Valor do caso base: 2.5 W/m²·K
Valor U (W/m²·K): 4.58
- ✓ EEM09* Eficiência do vidro: Valor U 5.7 W/m²·K, CGCS 0.52 e VT 0.85
Valor do caso base: 5.75 W/m²·K & CGCS 0.8 & VT 0.7
W/m²·K: 5.7 VT (Fator): 0.85
SHGC: 0.52

EEM10 Infiltração de ar do envelope: 50% de redução

✓ EEM11 Ventilação natural
Abertura da fachada do caso base: 0%

EEM12 Ventiladores de teto

EEM13* Eficiência do sistema de resfriamento: COP (W/W) 3.63

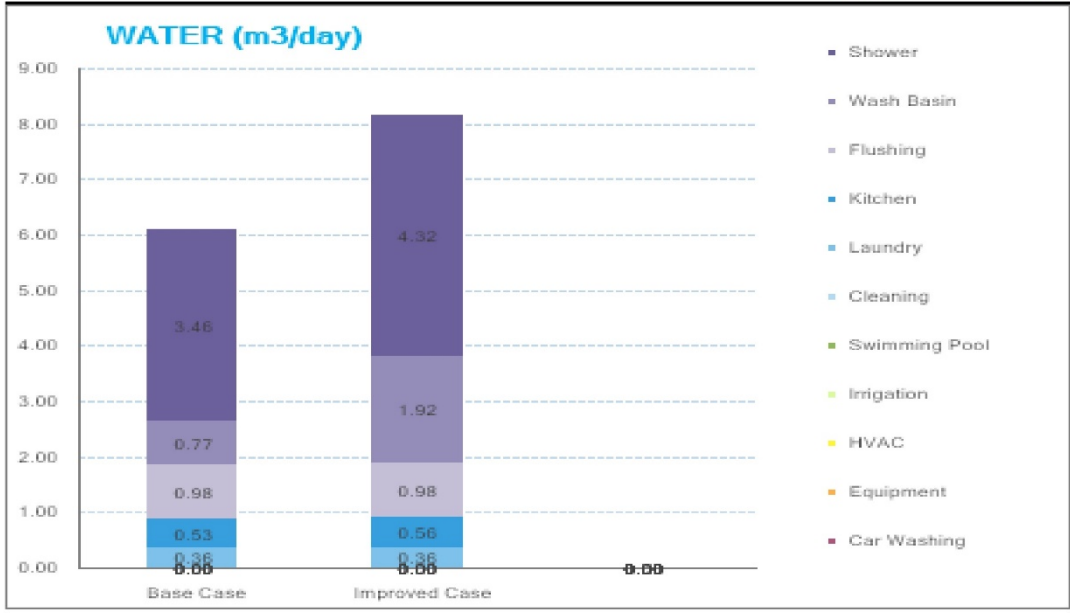
EEM14 Acionamentos de velocidade variável

Medidas de eficiência energética 35.12%

EEM15 Sistema de pré-condicionamento de ar fresco: Eficiência 65%	EEM26 Ventilação de controle de demanda para estacionamento usando sensores de CO
EEM16* Eficiência do Sistema de aquecimento do espaço: COP 3.68	EEM29 Geladeiras e máquinas de lavar roupa eficientes
EEM17 Controles de aquecimento ambiente com válvulas termostáticas	EEM30 Submedidores para sistemas de aquecimento e/ou resfriamento
EEM18 Sistema de água quente doméstico (DHW) : Solar 50%, Bomba de calor 50%, Caldeira 0%	EEM31 Medidores inteligentes para energia
EEM19 Sistema de pré-aquecimento de água quente doméstico	EEM32 Correções do fator de potência
EEM20 Economizadores	EEM33 Energia renovável no local: 25% do Uso anual de energia
EEM21 Ventilação de controle de demanda usando sensores de CO ₂	EEM34 Outras medidas de economia de energia
EEM22 Iluminação eficiente para áreas internas	EEM35 Aquisição de energia renovável externa: 100% do CO ₂ operacional anual
✓ EEM23 Iluminação eficiente para áreas externas Valor do caso base: 65 L/W Tipo de eficiência: Eficácia Luminosa Eficácia Luminosa (L/W): 80	EEM36 Compensações de Carbono: 100% CO ₂ Operacional Anual
✓ EEM24 Controles de iluminação Tipo de controle de iluminação: Ligar/Desligar Automático	EEM37 Refrigeradores de baixo impacto

ECONOMIA DE ÁGUA

Medidas de eficiência no uso da água -33.69%



Medidas de eficiência no uso da água -33.69%

- ✓ WEM01 Chuveiros com eficiência hídrica: 15 L/min
Valor do caso base: 12 L/min
Tipo de banheira: Chuveiros Taxa de fluxo (L/min): 15 Fornecimento de água quente: Bath Tub: Não
Não
- ✓ WEM02* Torneiras com eficiência hídrica para todos os banheiros: 20 L/min
Valor do caso base: 8 L/min
Tipo de torneira de água: Faucets with Taxa de fluxo (L/min): 20 Fornecimento de água quente: Não
Aerators
- ✓ WEM04* Efficient Water Closets for All Bathrooms: 6 L/flush
Valor do caso base: 6 L/descarga
Tipo de sanitário: Lavagem única Descarga de alto volume (L/min):
6
- WEM06 Bidê com economia hídrica: 2 L/min
- ✓ WEM08* Torneiras com economia hídrica para pias de cozinha: 12 L/min
Valor do caso base: 10 L/min
Fornecimento de água quente: Não Taxa de fluxo (L/min): 12

Medidas de eficiência no uso da água -33.69%

WEM09 Máquinas de lavar louça com economia hídrica: 10 L/Cycle

WEM10 Válvulas de pulverização de pré-lavagem com economia hídrica para cozinha: 3.75 L/min

WEM11 Máquinas de lavar com economia hídrica: 35 L/Ciclo

WEM12 Coberturas de piscina: 30% de área coberta

WEM13 Sistema de irrigação paisagística com economia hídrica: 4 L/m²/dia

WEM14 Sistema de captação de água da chuva: 7 m² da área do telhado usada para coleta

WEM15 Sistema de tratamento e reciclagem de águas residuais: 100% tratado

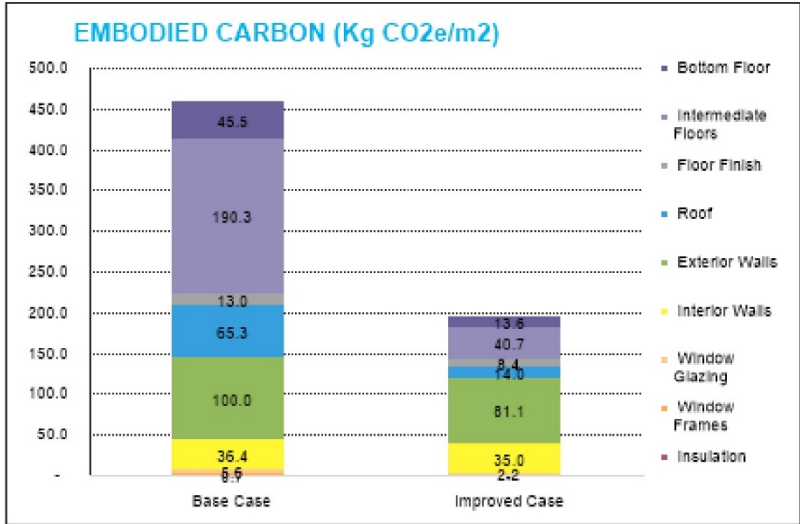
WEM16 Recuperação de água condensada: 100% de recuperação

WEM17 Medidores hídricos inteligentes

EMBODIED CARBON SAVINGS

Medidas de eficiência em Materiais 58.00%

Meets EDGE Material Standard



Medidas de eficiência em Materiais 58.00%

Nome do projeto:
Nome do subprojeto: Bloco Residencial direção Norte - Versão CC

Data e hora do download: 2025-04-08 23:16
35.12% | -33.69% | 58.00%

Seleção do caso melhorado		Material de construção	Proporção %	Espessura (mm)	Valor U (W/m²·K)	Embodied Carbon(kg/m²)
MEM01*	Construção do piso inferior Base Case Material: Concrete Slab In-situ Reinforced Conventional Slab Espessura: 100mm & Steel : 35kg/m²	Tipo 1 Laje de Concreto Laje Convencional Armada In-situ	100 %	80	3.74	
MEM02*	Construção de piso intermediário Base Case Material: Concrete Slab In-situ Reinforced Conventional Slab Espessura: 250mm & Steel : 35kg/m²	Tipo 1 Laje de Concreto Laje Convencional Armada In-situ	100 %	80		
MEM03*	Acabamento do piso Material do caso base: Azulejo Placas de cerâmica Espessura: 10mm	Tipo 1 Azulejo Telhas de cerâmica	100 %	6.4		
MEM04*	Construção do telhado Material do caso base: Laje de Concreto Laje Convencional Reforçada In-situ Espessura: 250mm & Steel : 35kg/m²	Tipo 1 Laje de Concreto Laje Convencional Armada In-situ	100 %	80	2.57	
MEM05*	Paredes externas Base Case Material: Brick Wall Solid brick (0-25% voids) with external and internal plaster Espessura: 150mm	Tipo 1 Concreto In-Situ Muro de Concreto Armado	100 %	200	2.54	
MEM06*	Paredes internas Material do caso base: Parede de tijolos Tijolo maciço (0-25% de vazios) com gesso externo e interno	Tipo 1 Concreto In-Situ Muro de Concreto Armado	100 %	140		

Medidas de eficiência em Materiais 58.00%

Seleção do caso melhorado	Material de construção	Proporção %	Espessura (mm)	Valor U (W/m²·K)	Embodied Carbon(kg/m²)
MEM07* Esquadrias da Janela Material do caso base: Alumínio	Tipo 1 Alumínio	100 %			
MEM08* Vidros de Janelas Base Case Material: Single Glazing Espessura: 8mm	Tipo 1 Envidraçamento simples	100 %	6	2.87	
MEM09* Isolamento do telhado Base Case Material: X - No insulation Espessura: 0mm	Tipo 1 X - Sem Isolamento	100 %			
MEM10* Isolamento da parede Material do caso base: X - Sem isolamento Espessura: 0mm	Tipo 1 X - Sem Isolamento	100 %			
MEM11* Isolamento do piso Base Case Material: Polystyrene Foam Spray or Board Insulation Espessura: 54.9mm	Tipo 1 X - Sem Isolamento	100 %			



Apartamentos 

Avaliação do EDGE: v3.0.0

Data e hora do download: 2025-04-08 23:16

Nome do projeto: [REDACTED]
Nome do subprojeto: Bloco Residencial direção Norte - Versão CC

35.12% | -33.69% | 58.00%

Subprojeto(s) Associado(s)

Número de série.	Nome do subprojeto associado	País	Cidade
1	Bloco Residencial direção Norte - Versão CC	Brazil	Belém