

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MATIAS RIBEIRO MÁXIMO DE LAVÔR

**BALANÇO ENERGÉTICO DE UM LABORATÓRIO DE PESQUISA EM CENÁRIOS
PRÉ, DURANTE E PÓS PANDEMIA, VISANDO CERTIFICAÇÃO NZEB**

UFPA / ITEC / PPGEE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ
BELÉM - PA

2022

MATIAS RIBEIRO MÁXIMO DE LAVÔR

**BALANÇO ENERGÉTICO DE UM LABORATÓRIO DE PESQUISA EM CENÁRIOS
PRÉ, DURANTE E PÓS PANDEMIA, VISANDO CERTIFICAÇÃO NZEB**

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência.

Orientador: Prof. Dr. Adonis Ferreira Raiol Leal

UFPA / ITEC / PPGEE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ
BELÉM - PA

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

“BALANÇO ENERGÉTICO DE UM LABORATÓRIO DE PESQUISA EM CENÁRIOS
PRÉ, DURANTE E PÓS PANDEMIA, VISANDO CERTIFICAÇÃO NZEB”

AUTOR: MATIAS RIBEIRO MÁXIMO DE LAVÔR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO – SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA.

APROVADA EM: 27/06/2022

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Adonis Ferreira Raiol Leal (Orientador)
Universidade Federal Do Pará - UFPA

Profa. Dra. Maria Emilia De Lima Tostes (Membro do PPGEE)
Universidade Federal do Pará - UFPA

Prof. Dr. Thiago Mota Soares (Membro do PPGEE)
Universidade Federal do Pará - UFPA

Profa. Dra. Suzane Cruz de Aquino Monteiro (Membro Externo)
Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA

VISTO:

Prof. Dr. Carlos Tavares da Costa Júnior (Coordenador)
Universidade Federal Do Pará - UFPA

DEDICATÓRIA

À Deus, em primeiro lugar, por ter me permitido concluir mais uma etapa da minha vida acadêmica, com saúde e perseverança.

Aos meus pais Antônia Máximo de Sousa Lavôr e Luiz Raimundo de Lavôr pelas orações e esforços para me oferecer uma base educacional de qualidade, o apoio para que eu pudesse superar os momentos mais difíceis e que de fato são essenciais para continuar sonhando e realizando.

Às minhas irmãs Robéria Máximo de Lavôr e Rogéria Máximo de Lavôr por sempre me apoiarem de maneira fraterna e que, assim como meus demais familiares, torcem pelo meu sucesso.

À minha noiva Mariuzza Ferreira da Costa e Silva pelo companheirismo, sabedoria em realçar de maneira suave as oportunidades de evolução nos momentos importantes, agregando motivação, serenidade e felicidade em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Adonis Ferreira Raiol Leal pela disponibilidade e por me conduzir de maneira prestativa e objetiva à construção de cada etapa deste trabalho.

Ao Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON) pela disponibilidade de espaço físico e todo o conhecimento compartilhado entre seus membros e colaboradores no desenvolvimento deste trabalho e de demais projetos dos quais participei.

A colaboração dos colegas do CEAMAZON: Jonathan Muñoz Tabora, Bruno S. de Albuquerque e em especial à Ana Carolina Souza por ter me orientado para seguir rumo certo ao aprendizado durante as atividades desenvolvidas até a finalização deste trabalho.

Enfim, a todos os meus amigos e companheiros conquistados ao longo do mestrado e que contribuíram de forma significativa para minha formação.

RESUMO

Sistemas de geração solar fotovoltaica desempenham um papel essencial para a melhoria da eficiência energética de uma edificação, de forma que ao ser integrado, atua diretamente no balanço energético, definindo um percentual de consumo de cargas a ser compensado pela fonte de energia renovável, parâmetro importante para os mais recentes requisitos de classificação de eficiência. A etiquetagem nacional de edificações já é obrigatória para prédios públicos federais, exigindo-se para sua obtenção, dentre outros requisitos, o efetivo atendimento da nova Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que substituiu o anterior Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C). No novo procedimento foram especificados critérios e métodos para classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética, visando à etiquetagem de edificações. A nova instrução também inclui a geração distribuída no balanço energético da edificação, bem como a caracterização de edificações NZEB e avaliação de emissões de Dióxido de Carbono. A partir do ano de 2020, toda a sociedade global viveu um período excepcional de pandemia de Covid-19, que ao alterar conjuntamente a dinâmica social, induziu transições temporárias ou permanentes nos balanços energéticos e padrões de consumo de energia elétrica nas edificações de todo o planeta, haja vista a extensão geográfica dos efeitos pandêmicos. Nesse sentido, o presente estudo busca apresentar uma análise de balanço energético em diferentes cenários cronológicos para o prédio do Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON), entidade pública de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, vinculada à UFPA, localizado no Parque de Ciência e Tecnologia Guamá. Além disso, é realizada uma breve análise em relação ao novo INI-C relacionada à metodologia de avaliação NZEB e emissões de dióxido de carbono, considerando a recente implantação de sistema de geração distribuída na edificação, bem como da estação de abastecimento de veículos elétricos nas proximidades, destacando o conjunto de características que possam classificar sua eficiência energética e demonstrando parâmetros essenciais para certificação.

Palavras-chaves: Eficiência Energética; Balanço Energético; NZEB; INI-C; Geração Solar Fotovoltaica; Geração Distribuída; Emissões de Dióxido de Carbono.

ABSTRACT

Photovoltaic systems have an essential role to improve the energy efficiency of buildings, so that when integrated, it works directly on the energetic balance, with a percentage of load to be compensated by the renewable energy source, important parameter according to latest efficiency requirements. National building labeling is already mandatory for federal buildings, demanding, among other requirements, the compliance of new procedure named Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), that replaced the old procedure named Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C). The new procedure brings criteria and methods for classifying energy efficiency for commercial, service and public buildings, aiming to obtain labeling buildings. The new instruction also includes the distributed generation in energetic balance of building, as well as the definition of NZEB buildings and carbon dioxide emissions evaluation method. Since 2020, the world has been experienced an exceptional period of the Covid-19 pandemic, and by changing the social dynamics, introduced temporary or permanent transitions in energetic balances and standards of buildings electricity consumption at the whole planet, due to geographic extension of pandemic effects. In this regard, this study seeks to present an analysis of the energetic balance in different chronological scenarios for the building named Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON), a public institution of Research, Development and Innovation, linked to UFPA, located in the Science Park and Technology of Guamá. Additionally, it shows a short analysis of the new INI-C related to the NZEB and carbon emissions evaluation methodology, considering the new implanted distributed generation system, and the electric vehicle charging station located nearby, highlighting the set of building characteristics that can classify its energy efficiency, and demonstrating essential parameters for certification.

Keywords: Energy Efficiency; Energetic Balance; NZEB; INI-C; Photovoltaic systems; Distributed Generation; Carbon Emissions.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Levantamento de carga instalada - Sistema de Ar-Condicionado (Fonte: CEAMZON)	38
Tabela 2: Levantamento de carga instalada - Sistema de Iluminação (Fonte: CEAMZON) ...	38
Tabela 3: Levantamento de carga instalada – Computadores (Fonte: CEAMZON).....	39
Tabela 4: Especificação técnica do sistema elétrico de alta tensão do ônibus elétrico (BYD,2021)	40
Tabela 5: Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória pelo método simplificado (PBEEDIFICA, 2021)	52
Tabela 6: Valores de referência para edificações educacionais (PBEEDIFICA, 2021).....	57
Tabela 7: Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI _L) para a classificação de eficiência pretendida – método do edifício completo (PBEEDIFICA, 2021)	64
Tabela 8: Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para a classificação de eficiência pretendida – método das atividades do edifício (PBEEDIFICA, 2021)	66
Tabela 9: fatores de conversão de eletricidade e gás em energia primária – Brasil (IEE-SP, [s.d.].....	69
Tabela 10: Edificações educacionais: coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A CRCEPD – A, com base no fator de forma (FF) e grupo climático correspondente (PBEEDIFICA, 2021)	73
Tabela 11: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral.....	74
Tabela 12: Valores de referência dos sistemas individuais para o cálculo das emissões de dióxido de carbono (PBEEDIFICA, 2021)	78
Tabela 13: Fatores de emissão de dióxido de carbono por geração de eletricidade (IEE-SP, [s.d.].....	79
Tabela 14: Levantamento de área e iluminação real pelo método das atividades.....	92
Tabela 15: Levantamento de área e potência limite para classificação A pelo método das atividades.....	93
Tabela 16: Levantamento de área e potência limite para classificação D pelo método das atividades.....	93
Tabela 17: Geração de energia anual da miniusina CEAMAZON	96
Tabela 18: Resumo dos dados avaliados na edificação.....	100

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	23
Equação 2	24
Equação 3	24
Equação 4	25
Equação 5	55
Equação 6	56
Equação 7	56
Equação 8	61
Equação 9	61
Equação 10	62
Equação 11	62
Equação 12	63
Equação 13	63
Equação 14	64
Equação 15	66
Equação 16	68
Equação 17	69
Equação 18	70
Equação 19	70
Equação 20	70
Equação 21	71
Equação 22	72
Equação 23	72
Equação 24	72
Equação 25	75
Equação 26	76
Equação 27	77
Equação 28	78
Equação 29	79
Equação 30	80
Equação 31	95
Equação 32	95
Equação 17	96
Equação 33	96
Equação 18	97
Equação 34	97
Equação 16	97
Equação 35	97
Equação 24	97
Equação 23	98
Equação 35	99
Equação 26	99
Equação 31	99
Equação 32	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processos de conversão energética (UNIFEI, 2006).....	22
Figura 2: Sistema Energético Generalizado (UNIFEI, 2006)	23
Figura 3: Panorama mundial dos instrumentos de Precificação de Carbono e Sistema de Comércio de Emissões no mundo. (EPE, 2020).....	31
Figura 4: Evolução das emissões brutas de GEE no Brasil entre 1990 e 2015 (Mt CO ₂ e) (EPE, 2018)	32
Figura 5: Plantas baixas do térreo (a), 1° (b) e 2° (c) pavimentos do edifício do CEAMAZON (JÚNIOR, 2020)	35
Figura 6: Fluxo básico de energia da Mini rede do CEAMAZON (elaborado pelo autor).....	36
Figura 7: Mapa de Medidores Instalados do SISGEE. (Fonte: CEAMAZON)	37
Figura 8: Dimensões e características do ônibus elétrico (BYD,2021).....	39
Figura 9: Sistema de Gerenciamento do Sistema Híbrido do CEAMAZON (Tabora, J. M. et al., 2021).....	40
Figura 10: Fluxograma da metodologia aplicada no trabalho.	42
Figura 11: Fluxograma de aplicação da INI-C (PBEEDIFICA, 2021)	44
Figura 12: Primeira página da ENCE Geral (PBEEDIFICA, 2021)	47
Figura 13: Primeira página da ENCE Parcial (PBEEDIFICA, 2021)	48
Figura 14: Primeira página da ENCE Declarada (PBEEDIFICA, 2021)	49
Figura 15: Segunda página da ENCE (PBEEDIFICA, 2021)	50
Figura 16: Terceira página da ENCE (PBEEDIFICA, 2021).....	51
Figura 17: Estrutura dos tópicos de avaliação de envoltória (PBEEDIFICA, 2021)	54
Figura 18: Estrutura dos tópicos de avaliação do sistema de condicionamento de ar (PBEEDIFICA, 2021)	55
Figura 19: Parâmetros para avaliação da edificação quanto à geração de energia local (PBEEDIFICA, 2021)	74
Figura 20: Fluxo de trabalho da avaliação da geração local de energia renovável (PBEEDIFICA, 2021)	75
Figura 21: Parâmetros de entrada para o cálculo de emissões de dióxido de carbono (PBEEDIFICA, 2021)	77
Figura 22: Consumo do CEAMAZON, período sem pandemia e sem GD (elaborado pelo autor).....	81
Figura 23: Consumo do CEAMAZON, período durante pandemia sem GD (elaborado pelo autor).....	82
Figura 24: Geração do CEAMAZON, período durante Pandemia, com GD (elaborado pelo autor).....	83
Figura 25: Estimativa de rota do ônibus elétrico (Fonte: Google Maps).	84
Figura 26: Consumo do CEAMAZON, período durante Pandemia, com GD (elaborado pelo autor).....	85
Figura 27: Estimativa de Consumo anual do CEAMAZON, período pós pandemia (elaborado pelo autor).....	86
Figura 28: Estimativa de Geração anual do CEAMAZON, período pós pandemia (elaborado pelo autor).....	87
Figura 29: Consumo anual do CEAMAZON, registrado até abril de 2022 (elaborado pelo autor).....	88
Figura 30: Geração anual do CEAMAZON, registrado até abril de 2022 (elaborado pelo autor).....	88

Figura 31: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral (Inmetro, 2021)..... 90

LISTA DE ABREVIACÕES

APP - Área de Permanência Prolongada;

BE – Balanço Energético;

CEE_R – Coeficiente de Condicionamento de Ar para Refrigeração;

CgTT – Carga Térmica Total Anual;

CO₂ – Dióxido de Carbono;

Comerciais, de Serviços e Públicos;

COP – *Coefficient of Performance*;

DPE - Densidade de Potência de Equipamentos;

DPI – Densidade de Potência de Iluminação;

DPI_L – Densidade de Potência de Iluminação Limite;

Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas;

EEP – Edificação de Energia Positiva;

EER – *Energy Efficiency Rate*;

ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia;

FF – Fator de Forma;

FV – Fotovoltaica;

GC – Grupo Climático;

GD – Geração Distribuída;

GEE – Gases de Efeito Estufa;

GGD – Grupo Gerador Diesel;

INI-C - Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de

LED – *light emitter diode*;

LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*;

MR - Mini Rede;

NZEB – *Near Zero Energy Buildings*;

OIA – Organismo de Inspeção Acreditado;

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento;

PBE Edifica – Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações;

PDI – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação;

Procel Edifica – Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica de Edificações;

RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios

SIN – Sistema Interligado Nacional;

SIs – Sistemas Isolados;

SISGEE - Sistema de Gestão de Energia Elétrica.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Motivação	16
1.2	Objetivos do estudo	18
1.2.1	Objetivo Geral	19
1.2.2	Objetivos Específicos	19
1.3	Estrutura da Dissertação	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1	Balço Energético em Edificações.....	22
2.1.1	Refrigeração a partir das cargas de ar-condicionado.....	24
2.1.2	Iluminação Artificial.....	25
2.1.3	Equipamentos de uso comum em edificações	26
2.2	NZEB	27
2.3	INI-C	29
2.4	Emissões de Dióxido de Carbono	30
2.5	Considerações Finais	32
3	METODOLOGIA	34
	Descrição da edificação	34
3.1	34	
3.2	Sistemas de Gerenciamento de Energia.....	36
3.3	Estrutura da Metodologia.....	41
3.4	Estrutura da INI-C	43
3.4.1	Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória.....	52
3.4.2	Aplicação do método simplificado	53
3.4.3	Aplicação do método simplificado em sistemas de iluminação	60
3.4.4	Classificação da eficiência energética geral da edificação	68
3.4.5	Avaliação da geração local de energia renovável.....	74
3.4.6	Avaliação das emissões de dióxido de carbono.....	77
4	RESULTADOS	81
4.1	Cenário 1 – Sem Pandemia / Sem GD (janeiro de 2019 – fevereiro de 2020)	81
4.2	Cenário 2 – Com Pandemia / Sem GD (março de 2020 – agosto de 2020).....	82
4.3	Cenário 3 – Com Pandemia / Com GD (junho de 2021 – agosto de 2021).....	82
4.3.1	Estimativa de consumo do ônibus elétrico	83
4.4	Cenário 4 – Pós Pandemia / Com GD.....	86
4.4.1	Projeção de cenário.....	86

4.4.2	Confirmação da Projeção (janeiro de 2022 – maio de 2022)	87
4.5	Avaliação da Edificação segundo a INI-C.....	89
4.5.1	Consumo de ar-condicionado	90
4.5.2	Consumo de iluminação	91
4.5.3	Consumo de equipamentos.....	94
4.5.4	Classificação da eficiência energética geral da edificação.....	95
4.5.5	Emissão total de dióxido de carbono da edificação.....	101
5	CONCLUSÃO	104
	REFERÊNCIAS	107

1 INTRODUÇÃO

Globalmente, o consumo final de energia elétrica nas edificações representa mais de um terço. Na Europa, essa proporção atinge cerca de 40% e, no Brasil, além de representar cerca 50% do consumo total de energia elétrica no país – distribuído em residências, comércios e setor público –, a potencial contribuição dessas edificações à eficiência energética é apontada como relevante em horizontes de médio e longo prazo (BRASIL, 2020a).

Esta atual conjuntura esclarece que as ações de eficiência energética em edificações podem ser consideradas estruturantes para o desempenho do sistema elétrico nacional. A relevância do tema remonta à iniciativa da Lei nº 10.295/2001, que introduziu, entre outros mecanismos, a necessidade de avaliação energética em edificações. Por consequência da iniciativa, uma série de regulamentações foram desenvolvidas a partir do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) promovido pela Eletrobrás e Inmetro, estabelecendo requisitos necessários para classificação do nível de eficiência energética das edificações (PBE Edifica, 2021a).

Em paralelo, entidades internacionais também demonstram esforços em busca de avanços na otimização das edificações a partir de padrões de desempenho sustentável, como é o caso da certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), que atua, entre outros países, no Brasil, a partir do *Green Building Council Brasil* (GBC Brasil).

A partir de 2021, foi instituída a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), em que foram especificados critérios e métodos para classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética, visando à etiquetagem de edificações. O documento apresenta os procedimentos para a determinação da classificação de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas (PBE Edifica, 2021b).

1.1 Motivação

O conceito *Near Zero Energy Buildings* – NZEB ou edifício com necessidades quase nulas de energia está relacionado às edificações com desempenho energético muito elevado, cujas necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, produzidas no local ou nas proximidades (UE, 2010). Este conceito foi utilizado pela primeira vez na Diretiva 2010/31/EU que

reformulou disposições contidas na Diretiva 2002/91/CE, também conhecida como *Energy Performance of Buildings Directive* - EPBD, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

O elevado desempenho energético de uma edificação está relacionado a aplicabilidade de algumas práticas, que no caso do Brasil, dependem de processos de certificação e etiquetagem. Esses processos são atualmente um campo de estudo bastante explorado por entidades como a Eletrobras, por meio do Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica de Edificações (Procel Edifica), que atua na regulamentação do nível de eficiência energética em edificações. Em parceria, o INMETRO atua no Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica), cujas diretrizes encontravam-se disponíveis nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (ELETROBRAS, 2019).

A etiquetagem nacional de edificações já se encontra em obrigatoriedade para prédios públicos federais, observando os mais recentes requisitos, entre os quais se destaca a mudança do RTQ-C para a nova Instrução Normativa INMETRO para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). A nova instrução também inclui a geração distribuída no balanço energético (BE) da edificação (BRASIL, 2021), bem como a caracterização de edificações NZEB e avaliação de emissões de Dióxido de Carbono.

Nesse cenário, parcerias recentes entre instituições de ensino e pesquisa e empresas têm fomentado oportunidades de desenvolvimento da região amazônica, com a implementação de projetos inovadores, a exemplo da parceria entre a Universidade Federal do Pará (UFPA) e a concessionária Norte Energia. Como resultado dessa cooperação, tem-se promovido iniciativas de mobilidade elétrica, com frota de ônibus e barco alimentados por estações de abastecimento conectadas em sistemas com energia renovável, através da construção de sistemas de geração solar fotovoltaica. Destaca-se o exemplo da mini usina no parque de ciências e tecnologia e outra na cobertura do edifício Espaço de Ensino Mirante do Rio, edificação esta que já possui relevantes níveis de eficiência energética como foi demonstrado em SOUZA, (2017).

Além do edifício Espaço de Ensino Mirante do Rio, outra importante iniciativa de promoção de eficiência energética financiada pela concessionária de energia elétrica Norte Energia S.A. é o caso da implantação de uma mini rede (MR) que possui um sistema de geração de energia híbrido (SH) no Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON). Além das características já mencionadas, o prédio do CEAMAZON conta com unidades de geração distribuída (GD), entre elas a solar fotovoltaica (FV), além de um SA com

banco de baterias, grupo gerador diesel (GGD) e a estação de abastecimento para veículos elétricos (Tabora, J. M. et al., 2021). Essa edificação será objeto de estudo no presente trabalho.

O prédio do CEAMAZON também possui integração da geração distribuída, recurso de monitoramento de carga e processamento de dados do Sistema de Gestão de Energia Elétrica (SISGEE), feitos através de medidores de grandezas elétricas que auxiliam significativamente na gestão energética predial. Esses aspectos demonstram o relevante potencial para alcançar um BE típico de NZEB ou próximo a zero. Além disso, propostas de implementação das ações de automação e controles de cargas prediais (ex. sistemas de iluminação e refrigeração) poderão possibilitar futuros estudos de modernização para que o CEAMAZON possa se tornar um *Smart Building*, que são construções que possuem uma alta capacidade de armazenamento e fluxo de dados integrados por conexões wireless com sensores de Internet das Coisas, com o objetivo de otimizar custos, eficiência energética e benefícios para os ocupantes e meio ambiente no longo prazo (EUROPEAN COMMISSION 2017).

Em virtude das mudanças de instruções normativas já citadas e da alteração no perfil de consumo da edificação em função dos recentes episódios de pandemia, influenciado pelo trabalho não presencial cada vez mais presente nas atividades da edificação, somada à infraestrutura da MR e GD, tornam o prédio do CEAMAZON um motivador campo para exploração dos conceitos de eficiência energética.

Dessa forma, entende-se como relevante a elaboração de um diagnóstico mais aprofundado da edificação, que incorpore desempenho operacional, eficiência energética, sistema de geração solar fotovoltaica e propostas de otimização de BE. E que a concepção de um diagnóstico utilizando as ferramentas mais recentes de certificação em diferentes cenários de mudança de carga no período de pandemia, demonstra além de contemporaneidade, um pioneirismo nos estudos acadêmicos da UFPA no ramo das fontes renováveis. Podendo também colaborar com futuros estudos em edificações com aplicações aos sistemas já implantados.

1.2 Objetivos do estudo

A utilização de sistemas de geração de energia FV são fundamentais para uma edificação, de forma que ao ser integrado, desempenha um papel de eficiência funcional e energética. Nesse sentido, o presente estudo apresenta os seguintes objetivos gerais e específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Elaboração de uma análise de BE em diferentes cenários cronológicos para o Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia - CEAMAZON, entidade pública de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI), vinculada à UFPA, localizado no Parque de Ciência e Tecnologia Guamá. Além disso, realização de uma breve comparação entre uma análise resumida da nova INI-C relacionada à metodologia de avaliação NZEB, com recente implantação de sistema de geração distribuída, destacando o conjunto de características da edificação que possam classificar sua eficiência a partir dos procedimentos e demonstrando parâmetros essenciais para certificação.

Também serão destacados o conjunto de características da edificação que possam classificar sua eficiência a partir dos procedimentos, demonstrando parâmetros essenciais para certificação. E por último uma avaliação referente à emissão total de dióxido de carbono da edificação a partir dos dados obtidos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Busca-se alcançar o objetivo geral a partir dos seguintes objetivos específicos:

1. Abordar os principais conceitos de eficiência energética em edificações;
2. Apresentar as principais certificações e etiquetagens de desempenho energético de edificações;
3. Abordar os principais conceitos relacionados à NZEB e Emissões de Dióxido de Carbono (CO₂);
4. Fazer levantamento de dados de consumo e geração de energia elétrica da edificação através de medidores de grandezas elétricas instalados e integrados ao SISGEE;
5. Fazer uma avaliação da evolução do balanço energético da edificação, nos cenários antes e durante a pandemia, assim como uma projeção após a pandemia;
6. Fazer uma avaliação da evolução do balanço energético da edificação, antes e após a instalação do sistema de geração solar fotovoltaica;
7. Realizar uma estimativa de consumo dos ônibus elétricos circulares em fase de testes no campus da UFPA, bem como seu impacto no perfil de consumo do CEAMAZON;

8. Aplicar a mais atual metodologia de desempenho energético do PBE Edifica (INI-C), fazendo uma análise crítica da abordagem em conjunto no estudo de caso.
9. Aplicar a metodologia de avaliação da INI-C relacionada aos conceitos de NZEB e Emissões de Dióxido de carbono da Edificação.

Espera-se, que os objetivos propostos possibilitem a síntese das ações necessárias para que se alcance um balanço energético exigido pelas metodologias de certificação, servindo de base de dados e especificações técnicas padronizadas para sua utilização em futuras construções dentro do campus da UFPA, as quais devem acompanhar uma tendência mundial, no sentido de que os investimentos em edificações conciliem a eficiência energética e a autossuficiência em energia.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está distribuída em seis capítulos, conforme breve resumo descrito a seguir:

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO, composta por uma amostragem do trabalho que será desenvolvido nos demais capítulos. No capítulo inicial, são expostas as motivações que nortearam o desdobramento da pesquisa, passando pelo objetivo central do estudo e por fim, a estrutura dos demais capítulos na forma de tópicos resumidos.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, expõe de maneira mais detalhada as principais definições que tema estudado engloba, assim como a literatura utilizada para compreender os principais conceitos, como Balanço Energético, *nearly Zero Energy Building* (NZEB), método Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas proposto pela INI-C, com breve discussão a respeito de Emissões de Dióxido de Carbono.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA, são descritas as principais características construtivas da edificação, sistemas e subsistemas que compõem a micro rede, com breve explanação sobre sistemas de aquisição e gerenciamento de dados, essenciais para o desenvolvimento dos cenários obtidos para a pesquisa. São abordados também os principais estágios do processo de construção da pesquisa, descrevendo os cenários avaliados na

edificação, assim como a proposta de utilização do procedimento INI-C, destacando os pontos da edificação com potencial classificação NZEB e abordagem relacionada às Emissões de Dióxido de Carbono, com estrutura apresentada na forma de fluxograma visando melhorar a compreensão do trabalho.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS, serão apresentados os cenários, a partir da coleta e tratamento dos dados na edificação analisada, expondo diferenças de desempenho em meio às conjunturas que levaram à pandemia assim como melhorias de infraestrutura de geração distribuída no período analisado, ao final uma breve comparação com uma análise resumida da nova INI-C relacionado à metodologia de avaliação NZEB e Emissões de Dióxido de Carbono.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO, apresenta o desfecho do trabalho de pesquisa realizado a partir dos objetivos iniciais, com os principais pontos avaliados assim como desmembramentos e futuras pesquisas para subsidiar a exploração do conhecimento relacionado ao tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

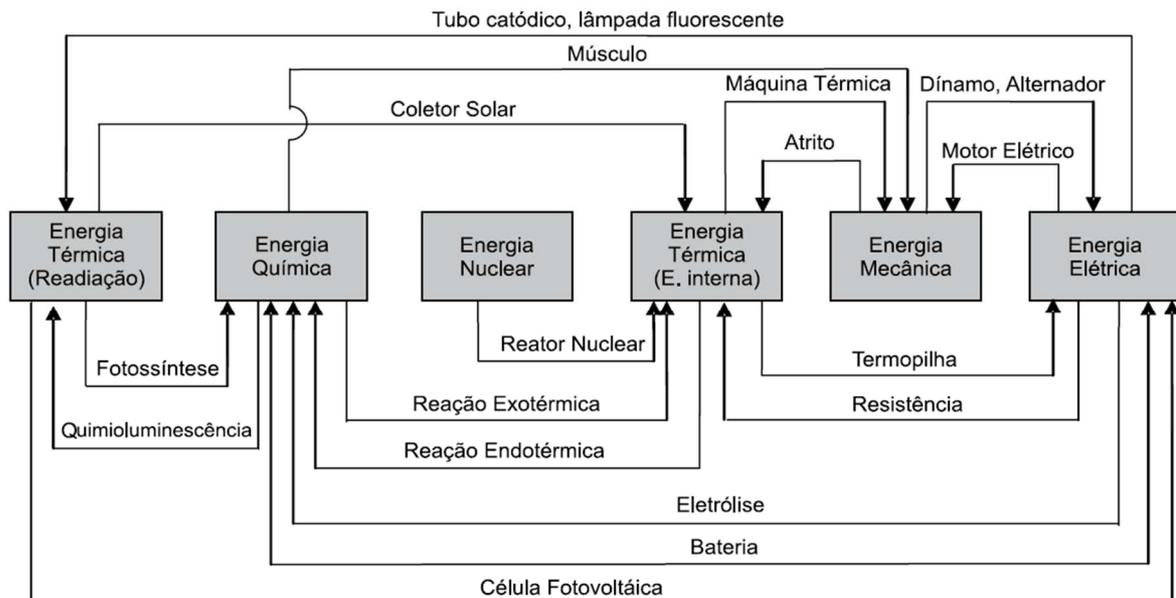
Na literatura relacionada à eficiência energética, alguns conceitos têm se consolidado, como a classificação de edificações com baixas necessidades de energia, através de ganhos de eficiência e Balanço Energético (BE), com presença de tecnologias de fontes renováveis, conhecida como *Zero Energy Building* (ZEB), definido inicialmente pelo Programa de Tecnologias de Construção do Departamento de Energia dos EUA (DOE). Já o conceito *nearly Zero Energy Building* (NZEB) ou Edificação de Energia quase Zero, foi utilizado pela Diretriz de Desempenho Energético de Construções (EPBD) do Parlamento Europeu (Kim, et al., 2015).

A seguir serão expostos alguns dos conceitos anteriormente citados, de especial relevância para compreensão do presente trabalho, bem como a presença desses termos em diversos estudos desenvolvidos na área de sistemas de energia renovável.

2.1 Balanço Energético em Edificações

Segundo (UNIFEI, 2006), uma característica essencial dos potenciais energéticos é a sua possibilidade de interconversão, em que uma forma energética pode ser convertida para uma utilização desejada a partir de processos naturais ou tecnológicos, conforme Figura 1.

Figura 1: Processos de conversão energética (UNIFEI, 2006)



A Lei de Conservação de Energia, também conhecida como primeira lei da termodinâmica, formalmente estabelecida em torno de 1840 por Joule e Meyer, permite efetuar balanços energéticos, determinar perdas, fluxos energéticos (UNIFEI, 2006), em que derivam-se os conceitos de desempenho ou eficiência energética de um sistema. É proposto pela referida lei, que é constante, em um dado período, a somatória dos fluxos de energia de entrada em relação a saída com a parcela de energia de um determinado sistema ou processo, sendo representada pela Equação 1:

$$\sum E_{entra} = \sum E_{sai} + \Delta E_{sistema} \quad (1)$$

Onde:

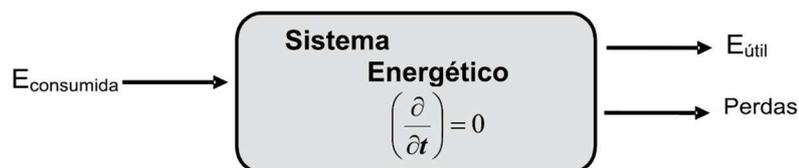
E_{entra} é o fluxo energético na entrada de um sistema;

E_{sai} é o fluxo energético na saída de um sistema;

$\Delta E_{sistema}$ é o estoque energético de um sistema.

Conceitos de desempenho ou eficiência energética de um sistema energético, η_{energ} , estão diretamente relacionados à esta lei, em que o fluxo energético em edificações, que possui a mesma sistemática, está relacionado à uma energia utilizada a partir do consumo de uma fonte geradora e que parte essa energia é perdida, conforme mostrado no diagrama de balanço de um sistema genérico da Figura 2, cuja Equação 2, que rege a referida lei são mostradas a seguir:

Figura 2: Sistema Energético Generalizado (UNIFEI, 2006)



$$\eta_{energ} = \frac{E_{util}}{E_{consumida}} = \frac{E_{consumida} - Perdas}{E_{consumida}} = 1 - \frac{Perdas}{E_{consumida}} \quad (2)$$

Onde:

η_{energ} é o desempenho ou eficiência energética de um sistema;

E_{util} é o efeito energético útil de um sistema;

$E_{consumida}$ é o consumo energético de um sistema;

$Perdas$ são as perdas energéticas de um sistema;

Note-se que a aplicação desta lei pressupõe uma convenção de sinais para os fluxos energéticos, convencionando-se como positivo o que tende a aumentar a energia do sistema (UNIFEI, 2006). Os conceitos de balanços de energia positivos e negativos serão fundamentais para compreensão da análise de eficiência energética que se pretende apresentar nesse trabalho.

2.1.1 Refrigeração a partir das cargas de ar-condicionado

Entre os sistemas largamente utilizados em edificações, destacam-se as instalações frigoríficas ou sistemas de refrigeração a partir de condicionadores de ar, fundamentais para o conforto térmico principalmente em cidades em regiões quentes, como é o caso de Belém – PA. Por essa razão essa carga é dependente do clima, que influencia no desempenho do resfriamento dos ambientes, a partir das diferenças de temperatura entre o ar interior da edificação e a unidade interna do ar-condicionado (evaporadora), assim como entre o ar externo e a unidade externa (condensadora).

Sistemas de ar condicionado possuem equipamentos usados em temperaturas baixas, logo sua eficiência energética não é expressa a partir da Equação 2, por esse motivo é usual empregar o coeficiente de performance (COP), conforme Equação 3, do inglês *Coefficient of Performance*, como fator que indique o seu desempenho energético a partir da razão entre a energia útil e a energia consumida ou Razão de Eficiência Energética (EER), a partir da Equação 4, do inglês *Energy Efficiency Rate*, que é a relação entre a capacidade frigorífica e a quantidade de trabalho para produzi-la, expresso em Btu/h/Watts.

$$COP = \frac{Energia \acute{U}til}{Energia Consumida} = \frac{Q_o}{W_c} \quad (3)$$

$$EER = \frac{\text{Capacidade Frigorífica}}{\text{Quantidade de Trabalho}} = \frac{Q_o \left[\frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right]}{W_c \left[\frac{\text{Watts}}{\text{h}} \right]} \quad (4)$$

O uso indiscriminado dos equipamentos de ar-condicionado tem contribuído para reformulações nos padrões de arquitetura tradicionais, exigindo que seja imprescindível considerar a influência do clima sobre o projeto de refrigeração, visando produzir edificações com consumo de energia elétrica reduzido.

Assim como um bom projeto arquitetônico, um adequado dimensionamento do sistema de refrigeração é desejado. A escolha de tecnologias mais adequadas ao projeto de refrigeração, que inclui seleção de equipamentos mais eficientes e inclusão de sistemas de controle para otimizar o consumo dessas cargas. Todas essas medidas visam contribuir para a edificação um balanço energético mais próximo de zero.

2.1.2 Iluminação Artificial

Outro importante contribuinte para o consumo de uma edificação é a iluminação artificial, que deve ser utilizada quando as técnicas de aproveitamento de iluminação natural por parte do projeto arquitetônico não são suficientes para suprir a demanda de níveis mínimos de iluminação e conforto visual dos usuários da edificação.

A partir do aumento da disponibilidade das luminárias à base de diodos emissores de luz ou *light-emitting diode* (LED) em mercados, foi possível ampliar as ações de eficiência energética, como a sua inclusão em sistemas com sensores de presença em ambientes de baixa circulação, haja vista que o uso dessa tecnologia de iluminação permite uma quantidade maior de acionamentos e uma extensão de vida útil quando comparada com tecnologias predecessoras, como incandescente e fluorescente.

Por outro lado, a ampliação no uso de iluminação LED tem exigido um maior cuidado na seleção dos equipamentos, uma vez que a expansão do mercado consumidor desses equipamentos carrega a partir de custos mais atrativos, o oferecimento de equipamentos de baixa qualidade. A expansão do uso dessa categoria de equipamentos pode prejudicar a qualidade da energia da rede com geração de harmônicos. Outro risco está na possibilidade desses equipamentos não disponibilizarem a eficiência energética que se propõe e no pior caso, causar prejuízos para a edificação com o aumento da frequência de substituições devido a vida útil reduzida.

Dessa forma, para o alcance de uma contribuição mínima no balanço de energia proveniente dos sistemas de iluminação artificial, torna-se recomendável um adequado projeto luminotécnico, com aproveitamento máximo da iluminação natural. Na etapa de seleção de luminárias é desejável dar preferência aos equipamentos com etiquetas de eficiência energética, e em caso de necessidade buscar por certificações internacionais que possam atestar as características do produto.

2.1.3 Equipamentos de uso comum em edificações

Assim como na iluminação artificial e diferentemente do sistema de refrigeração, o consumo de energia elétrica proveniente de cargas de uso comum em edificações como computadores, impressoras, elevadores e demais cargas, não dependem do clima. Dessa forma, seu consumo fica atrelado à sua eficiência e o seu período de uso (ELETROBRAS, 2011).

A produção de equipamentos mais eficientes é um desafio constante para os fabricantes, uma vez que precisam dispor de estudos de desenvolvimento pesquisa, maturação da tecnologia, regulações energéticas e restrições financeiras, atributos que geram risco e elevação do custo final no produto para os consumidores.

Essas barreiras podem influenciar negativamente tanto nos ganhos de escala dos fabricantes, como na implementação de ações de eficiência energética em edificações, uma vez que o preço dos produtos com tecnologias mais eficientes é uma variável de importante relevância para os usuários.

De maneira que em determinados casos, estratégias fiscais de incentivo propostos por economias globais podem ter impacto positivo na implementação, como é o caso da Alemanha, que iniciou sua trajetória de transição energética com a implementação de tarifas para o financiamento de projetos de longo prazo capazes trazer um número elevado de investidores que acreditem no sucesso do projeto, promovendo assim uma expansão mais rápida das fontes renováveis na matriz energética alemã. (BLAZUTI BARRETO GONÇALVES, 2015).

Apesar da disponibilidade de equipamentos com elevado nível de eficiência energética ter fundamental importância para uma redução na contribuição de energia consumida no balanço energético das edificações, ações de conscientização e implementação da cultura de redução do desperdício, que apesar de não mensurável, podem ter impactos positivos na busca de um balanço energético próximo de zero para uma determinada edificação.

2.2 NZEB

Como já mencionado, o conceito *Near Zero Energy Buildings* – NZEB ou Edifício com necessidades quase nulas foi utilizado pela primeira vez na Diretiva 2010/31/EU que reformulou disposições contidas na Diretiva 2002/91/CE, também conhecida como *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD), relativa ao desempenho energético dos edifícios. Nesse documento são relacionadas as características de edificações com desempenho energético muito elevado, como necessidades de energia minimizadas ou quase nulas principalmente em função da energia proveniente de fontes renováveis, produzidas no local ou nas proximidades (UE, 2010).

Estudos de caso já utilizaram esses conceitos, como o caso de Maruf Ahmed et al. (2020), que mostraram uma abordagem usando o software *DesignBuilder*, para projetar prédios que atendam não apenas aos requisitos NZEB da União Europeia (UE) em Sevilla, Andalusia e Espanha, mas também promovam a compensação de energia consumida através de um sistema de geração de energia solar FV, em que a especificação direciona o excedente de geração para atendimento a outras edificações em uma zona delimitada (Maruf Ahmed, et al., 2020).

No trabalho de Truong et al. (2017) foi realizado um estudo em uma edificação de referência localizada em Hanoi, Vietnã, com o auxílio do software PVSYST para futura instalação de sistema de geração distribuída e previsão de produção de energia FV em diferentes cenários meteorológicos, destacando melhorias de eficiência energética e redução de custo com energia elétrica. Os primeiros resultados foram voltados para o dimensionamento de um sistema real, propondo futuros estudos de integração de um sistema de armazenamento (SA) com banco de baterias (Truong et al., 2017). Semelhante metodologia foi aplicada em outros trabalhos, em especial na edificação que o presente trabalho busca avaliar, conforme demonstrado por Andrade V. B. et al. (2020).

Rey-Hernández et al. (2018) desenvolveram uma análise energética de uma edificação existente, conhecida por “LUCIA”, com geração distribuída (FV e biomassa), estando entre as edificações com mais elevada certificação LEED no mundo, composta por diversos laboratórios de pesquisa e localizada no campus da Universidade de Valladolid (UVa), na Espanha. No trabalho, o modelo obtido da edificação foi simulado, resultando em indicadores usuais para análise NZEB, de acordo com os requisitos europeus (Rey-Hernández et al., 2018).

No estudo relacionado com a influência da taxa de energia renovável e fatores de conversão no desempenho energético de edificações, Pavel Atănăsoae et al. (2021) listou alguns requerimentos de desempenho energético, baseados em diretrizes acordadas na Europa, mais

precisamente em Suceava, na Romênia, em que classificam uma edificação com classe de eficiência NZEB, como indicadores mostrados a seguir:

- Classe energética (A, B, C, ...G);
- Consumo de energia anual total específico (kWh/m²Ano);
- Índice de emissão de CO₂ equivalente (kgCO₂/m²Ano).

Os requisitos mínimos de desempenho energético para elementos de construções que são parte da envoltória da construção, de uma edificação como um todo, são diferentes para novas e construções existentes, assim como para várias categorias de edificações, mas também dependem da zona climática a qual a edificação está localizada. (ATANASOAE et al., 2021)

Como já mencionado, devido algumas restrições de natureza econômica, e de disponibilidade de mercado, o uso de energia baseado em tecnologias de fontes de geração renovável ainda não é uma prática majoritária na sociedade. Por essa razão, o conceito NZEB utiliza critérios que visam induzir a expansão do uso de energia renovável em edificações, partindo de três princípios básicos, que podem ser atendidos de maneira cumulativa:

- O total de energia primária consumida pela edificação deve ser a menor possível;
- A contribuição de energia de fontes renováveis deve ser a mais alta possível;
- As emissões de CO₂ devem ser as menores possíveis.

Ainda pelo trabalho de Pavel Atănăsoae et al. (2021), é citado que no caso da Romênia, para novas edificações ou reformas, o percentual de energia proveniente de fontes renováveis deve ser no mínimo de 30% da energia consumida pela edificação, incluindo energia produzida por fontes renováveis no local da edificação ou nas proximidades, em um raio de até 30 km da coordenada de GPS da edificação (ATANASOAE et al., 2021).

Um lugar de destaque na contemporaneidade da presente pesquisa está no fato da INI-C ter recentemente trazido pela primeira vez algumas definições e critérios de NZEB, alguns deles podem ser comparáveis aos estabelecidos no estudo europeu, como por exemplo a definição de que a edificação energeticamente eficiente cuja geração de energia renovável produzida nos limites da edificação ou do lote em que a edificação está inserida supre 50% ou

mais de sua demanda anual de energia (INMETRO, 2021), critério mais rigoroso que o mínimo de 30% já destacado e que será posteriormente detalhado na edificação em estudo.

2.3 INI-C

A partir de 2014, o Procel Edifica juntamente com o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) promoveram ações de melhoria dos métodos de avaliação do nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas, bem como de edificações residenciais, também conhecidos como RTQ-C e RTQ-R, respectivamente.

Essas ações buscavam auxiliar o consumidor na escolha do imóvel a partir de um indicador de desempenho aprimorado. Uma vez que as classificações promovidas por etiquetas são limitadas em relação às informações de consumo real da edificação e conseqüentemente dificultavam a quantificação de economia e o emprego de medidas de eficiência energética.

O Ministério da Economia/Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro aprovou, no dia 09 de março de 2021, a nova Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), especificando os critérios e os métodos para a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética (PBE Edifica, 2021).

Com isso, a Instrução Normativa INMETRO para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) trouxe uma nova proposta de avaliação de desempenho, baseando-se no consumo de energia primária em que são contabilizadas tanto a energia elétrica, quanto a energia térmica, provenientes de diversas fontes (ex.: elétrica, a gás e solar). As informações de consumo são utilizadas em bases anuais e mensais por sistema final, com comparativo da edificação entre sua condição real e de referência, na classe D no caso das edificações comerciais, de serviços e públicas - e na classe C - no caso das edificações residenciais.

Além de trazer novas definições e informações complementares como a quantificação do potencial da edificação em NZEB, potencial de redução de emissões de dióxido de carbono, conforme será mostrado com mais detalhes nos próximos tópicos e potencial de economia de água potável a partir de sistemas que promovem a redução de seu consumo.

A nova INI-C também faz menção às edificações de energia positiva, cuja geração de energia renovável produzida nos limites da edificação ou do lote em que a edificação está

inserida é superior à sua demanda anual de energia (PBE Edifica, 2021), definição que remete ao balanço de energético positivo mencionado no início dessa tópico.

2.4 Emissões de Dióxido de Carbono

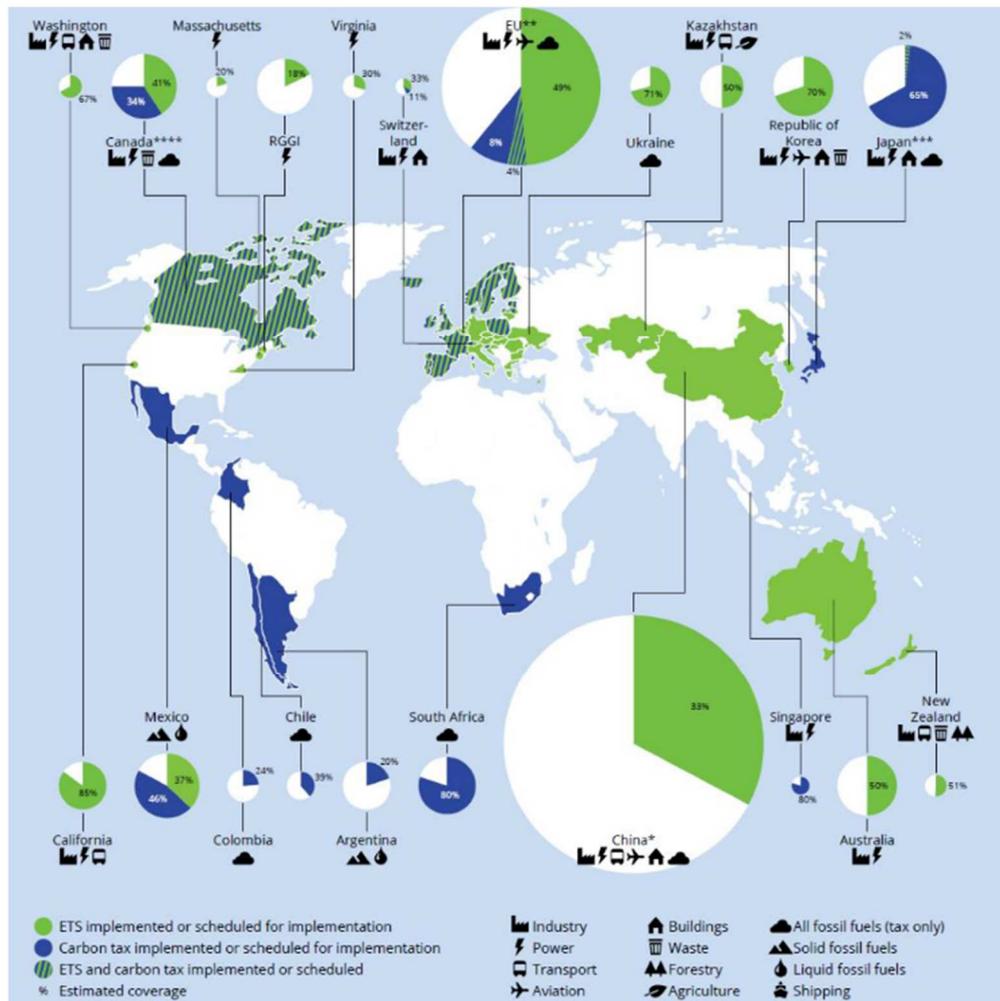
O uso exaustivo dos recursos do planeta através da industrialização, geração de energia, desmatamento e a agropecuária contribuem para maiores emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), entre eles destaca-se o dióxido de carbono (CO₂), cuja elevada concentração na atmosfera tem contribuído para mudanças climáticas a partir dos aspectos negativos do efeito estufa.

A redução de emissões de carbono tem se tornado um fator de relevante importância no atual cenário global e que de acordo com KHANNIBA, M. et al. (2020) será uma variável com influência na taxa de crescimento do produto doméstico no longo prazo, cuja participação na economia pode ser comparável à força de trabalho e a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis.

Entre as iniciativas relacionadas às políticas de mitigação de emissões que tem sido discutida e com experiências internacionais, conforme mostrado na Figura 3, em que no caso envolve a precificação de carbono, deriva do princípio poluidor pagador. Essa iniciativa tem como um dos objetivos impulsionar a diminuição das emissões de carbono por meio da reflexão das mesmas nos custos dos produtos e serviços.

A precificação de carbono ou *Emissions Trading System* - ETS pode ser classificada em preço negativo, implícito ou explícito. Pode ser aplicada por tonelada de carbono emitida de dióxido de carbono equivalente ou por meio da tributação dos combustíveis fósseis, podendo ser aplicada por setores ou, de forma geral, na economia e definida por uma agência reguladora (EPE, 2020). O Brasil, diferentemente da maioria dos instrumentos de precificação implantados pelo mundo, ainda se encontra com iniciativas indefinidas, em análise e sem progresso no seu desenvolvimento.

Figura 3: Panorama mundial dos instrumentos de Precificação de Carbono e Sistema de Comércio de Emissões no mundo. (EPE, 2020)



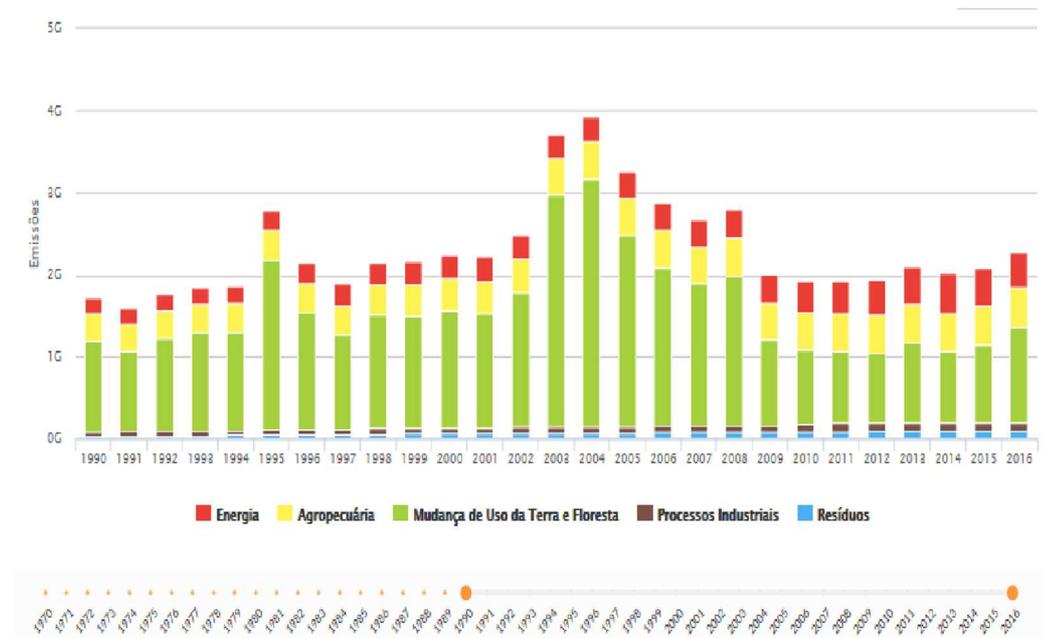
A partir da evolução das emissões brutas de GEE no Brasil entre os anos de 1990 e 2015 em milhões de toneladas (Mt CO₂), disponível na Figura 4, é possível observar a tendência de redução de emissões derivadas de mudança do uso do solo e florestas a partir de 2004, que pode ser justificada pela melhoria das políticas de controle e fiscalização de desmatamento e queimadas da Amazônia.

No mesmo período, observa-se uma leve tendência de elevação das emissões de GEE provenientes da energia, que podem decorrer de fatores conjunturais, como o maior acionamento de usinas térmicas em virtude de situações hidrológicas desfavoráveis e com a maior entrada de fontes intermitentes de energia (EPE, 2018), uma vez que a matriz de geração de energia elétrica brasileira possui baixas emissões comparada com a maioria dos países.

Apesar de não haver explicitamente o objetivo de descarbonização da matriz elétrica brasileira, existe a busca pela ampliação da participação de renováveis e de eficiência energética

(EPE, 2018), contribuindo de forma indireta na redução das emissões de GEE e presente em diversas ações, entre elas criação de demais legislações, como as já mencionadas nos capítulos introdutórios deste trabalho e a nova INI-C que também conta com critérios de quantificação das emissões de CO₂.

Figura 4: Evolução das emissões brutas de GEE no Brasil entre 1990 e 2015 (Mt CO₂e) (EPE, 2018)



Os critérios para determinação do percentual de redução ou acréscimo de emissões de CO₂ disponíveis na INI-C tem caráter informativo, não alterando a classificação de eficiência energética da edificação, e assim como as demais avaliações disponíveis na instrução, também estabelece um comparativo entre a condição real da edificação e sua condição de referência.

2.5 Considerações Finais

Essa revisão bibliográfica introduziu alguns conceitos essenciais à estrutura desse trabalho, como a concepção do balanço energético de sistemas e quais cargas são fundamentais para análise de eficiência energética em edificações como iluminação, climatização e demais equipamentos com o seu paralelo com os estudos de envoltória.

Os referidos conceitos se contextualizam com o método de avaliação INI-C, que apesar de ter sido recentemente introduzido após revisões do antigo RTQ-C, já propõe em sua metodologia tópicos modernos e já experimentada em outros países pelo mundo, de acordo com a literatura consultada, como é o caso da conceituação do NZEB e Emissões de Carbono.

Os conceitos modernos de eficiência energética revisados serão de fundamental importância para avaliar cenários ocorridos na edificação estudada, em que a partir do ano de 2020, toda a sociedade global viveu um período excepcional de pandemia de Covid-19, que ao alterar conjuntamente a dinâmica social, induziu transições temporárias ou permanentes nos balanços energéticos e padrões de consumo de energia elétrica nas edificações de todo o planeta, haja vista a extensão geográfica dos efeitos pandêmicos.

3 METODOLOGIA

Os resultados que serão apresentados no desenvolvimento deste trabalho foram obtidos a partir da coleta de dados de consumo das cargas da edificação em uma série temporal, desde 2019 até 2021. Durante esse intervalo de tempo, variáveis conjunturais relacionadas às variações no perfil do consumo, como a pré-pandemia, pandemia e projeção pós pandemia de Covid-19, servindo de base para compreensão da dinâmica das cargas da edificação. Esses dados contribuirão de maneira referencial para o desenvolvimento de um diagnóstico, cujo padrão INI-C é utilizado para avaliar características existentes propondo melhorias de eficiência energética.

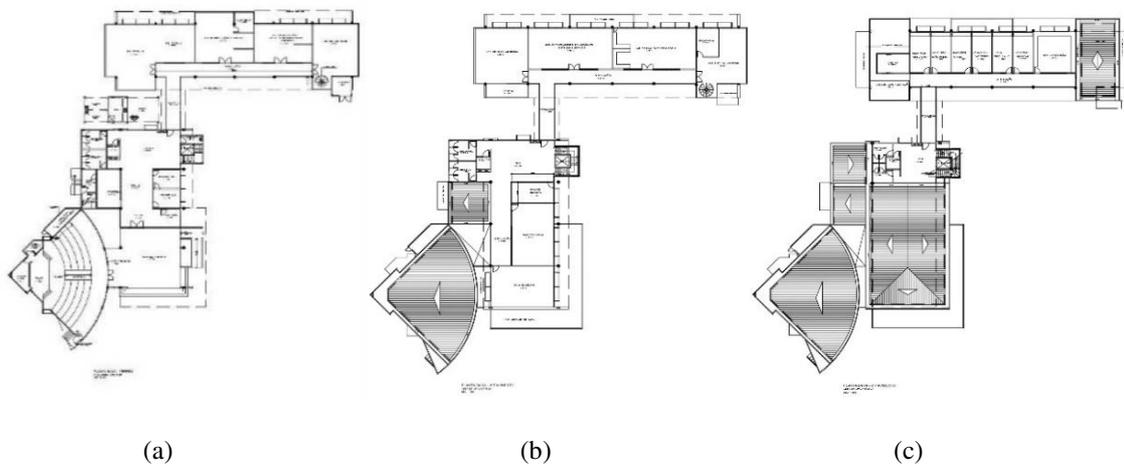
Vale ressaltar que importantes mudanças, oriundas do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) Estratégico nº 22/2018 da ANEEL para Desenvolvimento de Soluções em Mobilidade Elétrica Eficiente, financiado pela concessionária de energia elétrica a empresa Norte Energia S.A., foram atribuídas à eficiente evolução da edificação durante o período avaliado. A partir de 2020, observa-se a implantação de uma mini rede (MR) que possui um sistema híbrido (SH) com unidades de geração distribuída (GD), entre elas o sistema de geração FV, além de um SA com banco de baterias, grupo gerador diesel (GGD) e a estação de abastecimento para veículos elétricos (Tabora, J. M. et al., 2021), que traz consigo um referencial inovador no seu novo perfil de consumo.

3.1 Descrição da edificação

O CEAMAZON representa uma edificação de uso educacional que conta com uma área total construída de 2.395,43 m², totalizados em 3 pavimentos, possuindo um auditório com capacidade para 102 pessoas, uma cafeteria, uma biblioteca, duas salas de aula, uma sala para reuniões, seis salas para professores, sete laboratórios de pesquisa e três banheiros por andar (masculino, feminino e PNE) (JÚNIOR, 2020), com planta baixa mostrada na Figura 5.

Além dos blocos mostrados na Figura 6, outros anexos pertencentes ao mesmo lote da edificação são destinados aos sistemas de geração solar FV, juntamente com o GGD, SA com banco de baterias e a estação de abastecimento de veículos elétricos, cujo fluxo básico de energia da MR pode ser observado na Figura 6.

Figura 5: Plantas baixas do térreo (a), 1° (b) e 2° (c) pavimentos do edifício do CEAMAZON (JÚNIOR, 2020)

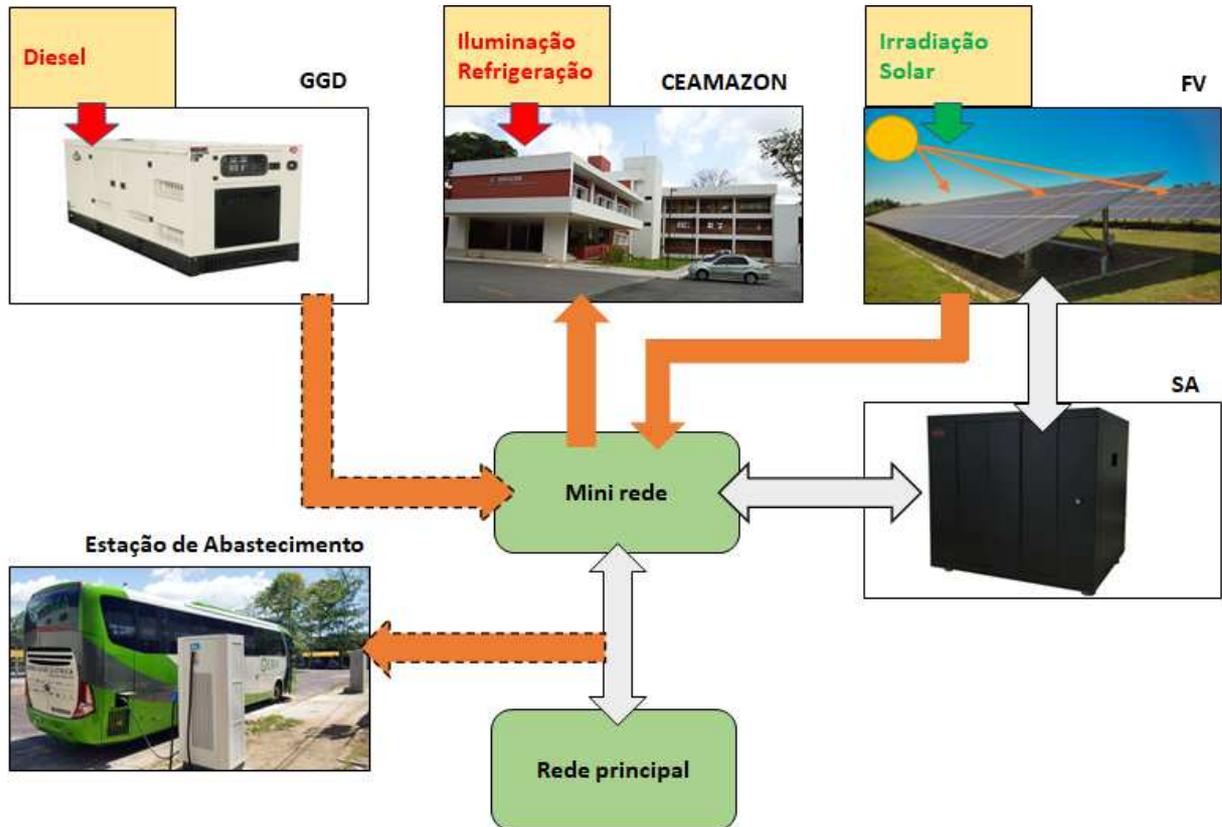


Os painéis FV estão instalados sobre suportes aterrados, com inclinação de 12° , compondo o sistema de geração que possui 3 subsistemas: CEAMAZON 1 com um inversor de 58 kWp conectado à rede de maneira convencional, CEAMAZON 2 com um inversor de 16 kWp conectado a MR da edificação podendo funcionar em modo off-grid em caso de falta de energia e CEAMAZON 3 com um inversor de 6 kWp que opera exclusivamente para suprimento do SA, juntos os três sistemas totalizam uma geração de 80 kWp (Tabora, J. M. et al., 2021), como é possível observar no fluxo básico de energia da MR na figura 6.

Cabe destacar que o grupo gerador a diesel é um equipamento para suprimento de energia em caso de indisponibilidade por parte da rede da concessionária, porém observou-se esse equipamento encontrava-se, até a finalização deste trabalho, ainda em indisponibilidade operacional, aguardando os devidos ajustes técnicos para o seu efetivo funcionamento.

Outro ponto que merece destaque é o fato de a estação de abastecimento de veículos elétricos não estar instalada diretamente na MR do CEAMAZON em baixa tensão, mas no limite do alimentador da rede principal de distribuição de energia elétrica, nas proximidades da entrada da edificação. Considerando que a infraestrutura de equipamentos foi instalada durante a elaboração deste trabalho, bem como a contemporaneidade do tema relacionado à mobilidade elétrica no campus, optou-se por avaliar a sua influência no balanço energético da edificação.

Figura 6: Fluxo básico de energia da Mini rede do CEAMAZON (elaborado pelo autor).



3.2 Sistemas de Gerenciamento de Energia

Para analisar o consumo da edificação nos períodos de 2019 até 2021 foi realizada a coleta de dados no Sistema de Gestão de Energia Elétrica (SISGEE) que é um sistema de aquisição de dados com medidores de grandezas elétricas instalados em diversas edificações do Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá e no campus Belém da UFPA.

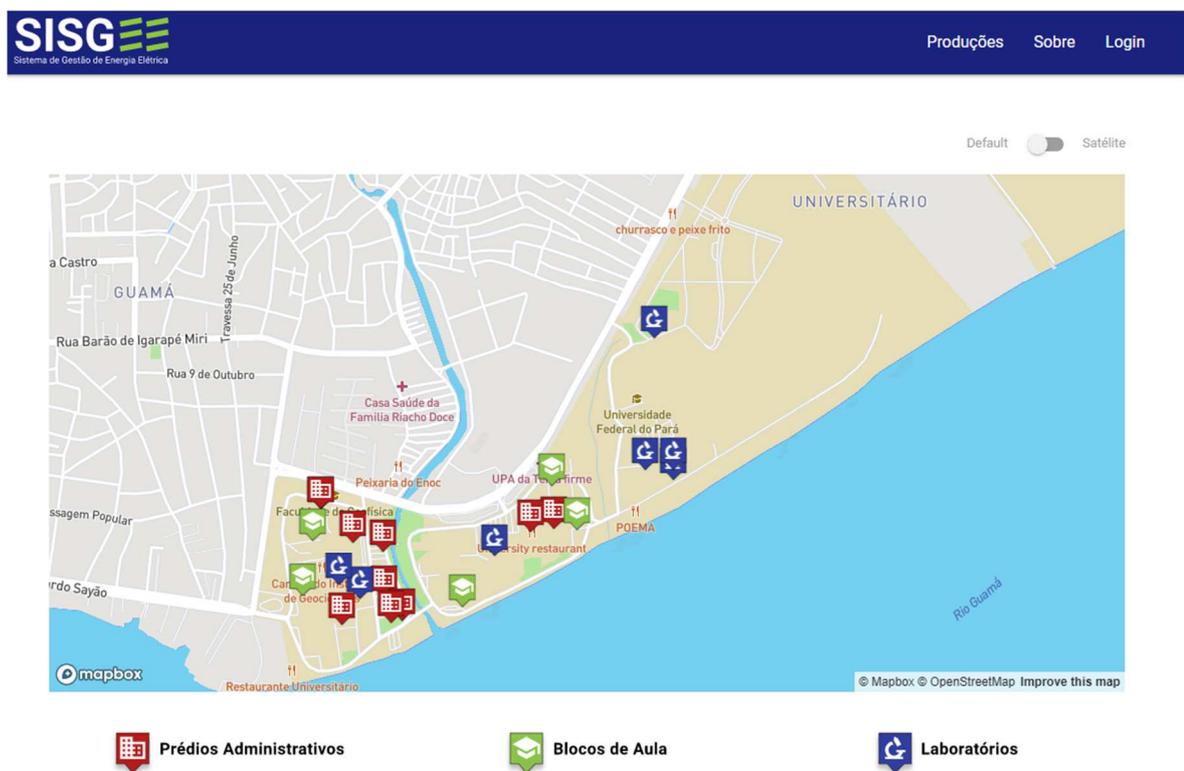
O SISGEE é capaz de auxiliar as equipes de manutenção, os gestores e os usuários finais a monitorar o consumo e a qualidade da energia elétrica, além de gerar indicadores que refletem o grau de eficiência, economia e qualidade da energia das instalações consumidoras de forma didática e rápida (CARVALHO et al., 2019).

Os medidores de grandezas elétricas possibilitam o monitoramento em tempo real grandezas elétricas, como tensão, corrente, potência ativa, potência reativa, fator de potência, consumo e demanda.

A partir da medição dessas variáveis elétricas realizada maneira contínua com armazenamento em memória de massa é possível realizar estudos relacionado à demanda, rateio de custos com energia ou consumo de energia elétrica.

Os estudos são realizados baseados em indicadores que ajudam a avaliar eficiência, economia e qualidade de energia do sistema elétrico do campus, uma vez que podem ser integrados via ethernet em software específico para o sistema de gestão das unidades consumidoras que compõem o sistema, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7: Mapa de Medidores Instalados do SISGEE. (Fonte: CEAMZON)



No armazenamento de dados em memória de massa, a quantidade informação depende diretamente de quanto tempo os medidores estão instalados. No caso do CEAMAZON, há registro de medições que remontam o ano de 2017, porém, levando em consideração os períodos de ajustes operacionais e aprimoramento do sistema, optou-se em iniciar a avaliação cronológica a partir de 2019.

Em paralelo, visando interpretar a ordem grandeza dos dados disponibilizados pela memória de massa do SISGEE, uma análise *in loco* foi realizada levantando o quantitativo de cargas da edificação, chegando a uma estimativa de potência instalada referente à refrigeração a partir das cargas de ar-condicionado de aproximadamente 95,58kW, conforme mostrado na

Tabela 1. Por sua vez, a Tabela 2 mostra a potência instalada de iluminação corresponde a 17,58kW, e as demais cargas, incluindo computadores, a aproximadamente 13,80kW, conforme consta na Tabela 3. Esses valores equivalem, respectiva e proporcionalmente a 75%, 14% e 11% da potência total e serão utilizados apenas para efeito de comparação entre os cenários.

Tabela 1: Levantamento de carga instalada - Sistema de Ar-Condicionado (Fonte: CEAMZON)

Classificação	Quantidade	Pot. Unitária [BTU/h]	Pot. Total [BTU/h]	Pot. Unitária Estimada [w][1]	Pot. Total Estimada [w]
A	6	12.000	72.000	1.085	6.510
	8	18.000	144.000	1.790	14.320
	2	24.000	48.000	2.135	4.270
B	1	24.000	24.000	2.292	2.292
C	1	12.000	12.000	1.249	1.249
	1	18.000	18.000	2.000	2.000
	1	24.000	24.000	2.497	2.497
D	1	30.000	30.000	3.250	3.250
E	1	12.000	12.000	1.467	1.467
	2	24.000	48.000	2.561	5.122
	3	30.000	90.000	3.462	10.386
	4	36.000	144.000	4.219	16.876
	4	58.000	232.000	6.336	25.344
Total			898.000		95.583

[1] A potência unitária foi considerada a partir da potência típica de aparelhos similares com a respectiva classificação de eficiência energética.

Tabela 2: Levantamento de carga instalada - Sistema de Iluminação (Fonte: CEAMZON)

Pavimento	Potência Total Real Instalada (W)	Potência Total Instalada (W) [2]
Térreo	4.633	7.467
1° PAV	5.120	6.952
2° PAV	2.424	3.160
Total	12.177	17.579

[2] Para o levantamento proporcional de cargas foi utilizada a potência total instalada que desconsidera eventuais luminárias que se encontravam com defeito no momento da avaliação.

Tabela 3: Levantamento de carga instalada – Computadores (Fonte: CEAMZON)

Pavimento	Quantidade	Potência Total Instalada (W) [3]
Térreo	35	7000
1º PAV	32	6400
2º PAV	2	400
Total	69	13.800

[3] Para o cálculo utilizou-se o valor de 200W como valor típico de uma fonte para computador desktop.

O ônibus elétrico circular, com características mostradas de acordo com a Figura 8, cuja fase de implantação foi iniciada em 2021, tem por objetivo realizar o transporte de estudantes no campus da universidade, possui as características elétricas conforme indicadas na Tabela 4.

Figura 8: Dimensões e características do ônibus elétrico (BYD,2021)

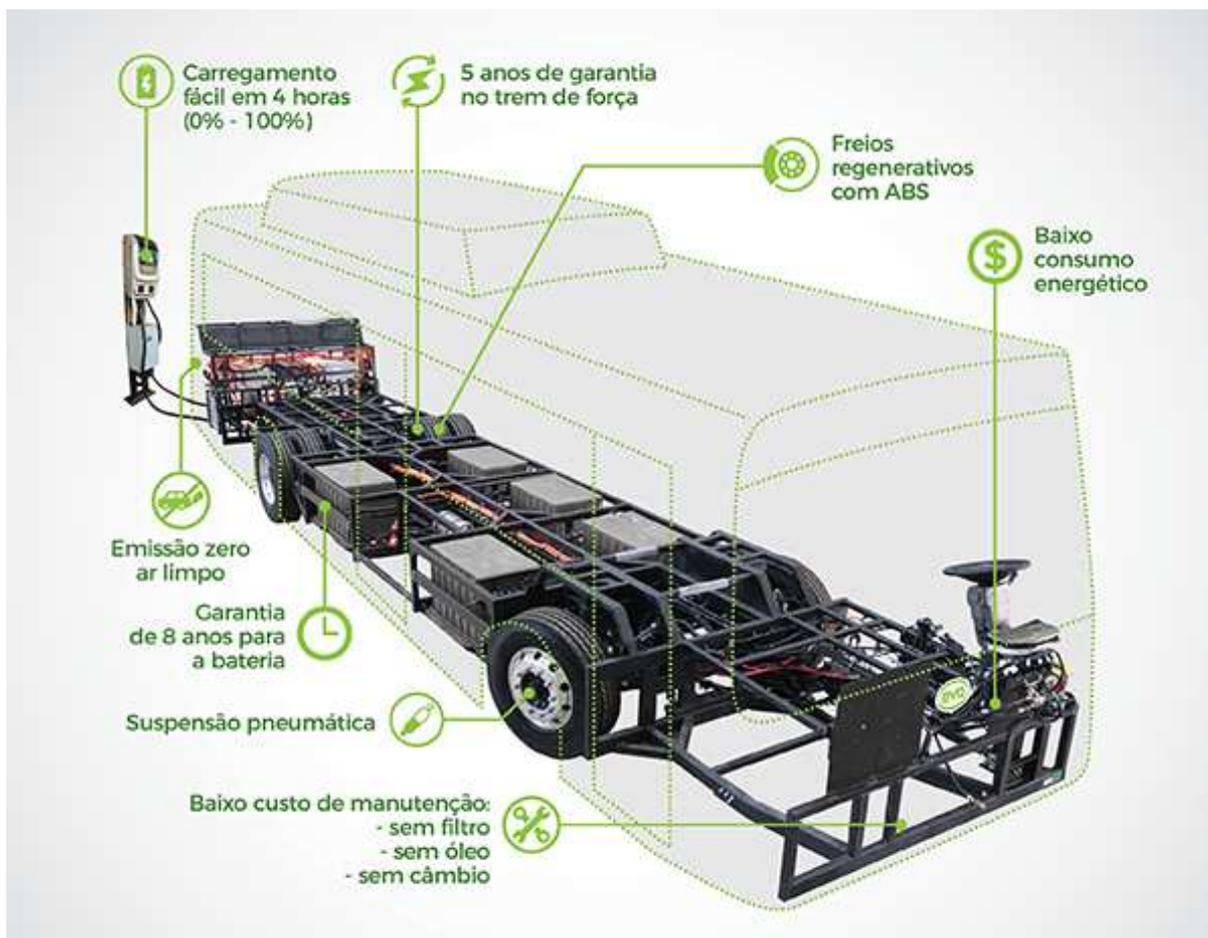
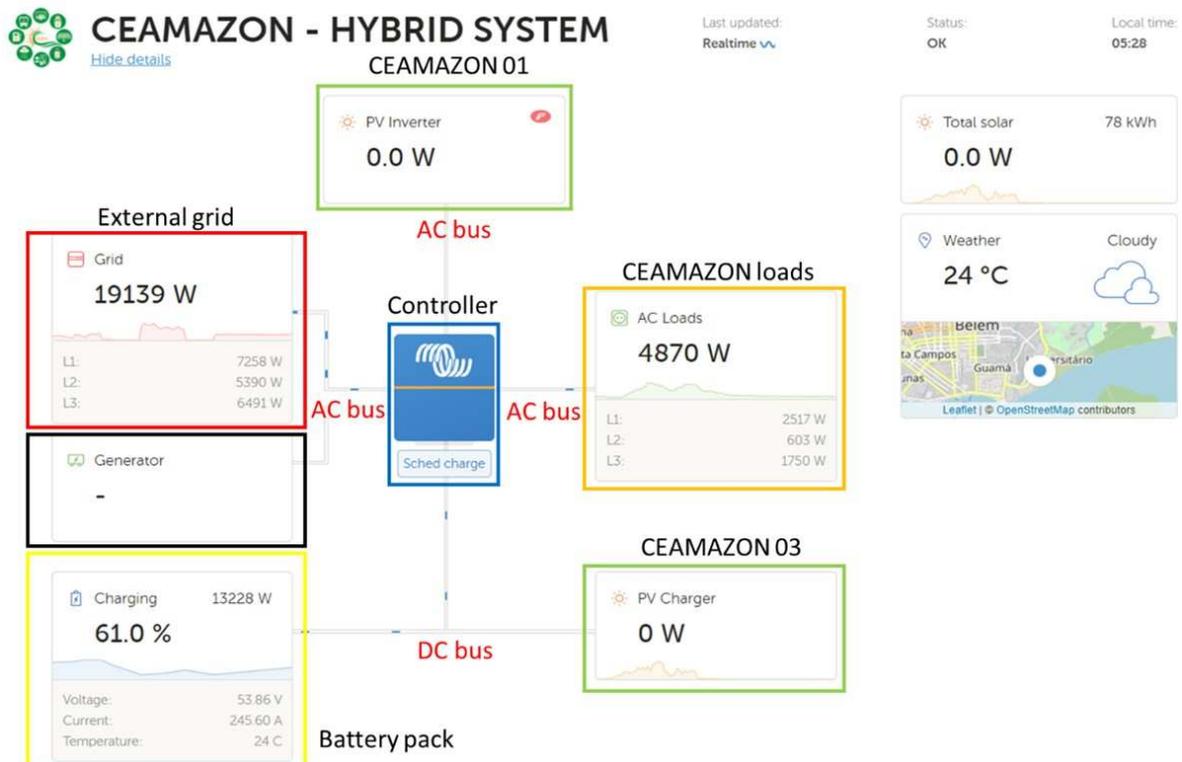


Tabela 4: Especificação técnica do sistema elétrico de alta tensão do ônibus elétrico (BYD,2021)

Modelo da bateria	BYD LiFePO ₄
Capacidade da bateria	324 kWh
Potência carregamento	AC 2x40kWg
Tomada de carregamento	European standard
Tempo de carregamento	Entre 4h e 5h
Tensão	380 V
Frequência de carregamento	60 Hz

O sistema de gerenciamento das fontes de GD utiliza um sistema próprio de armazenamento de dados, permitindo configuração de parâmetros de maneira remota, assim como o monitoramento do sistema em tempo real (Tabora, J. M. et al., 2021), conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9: Sistema de Gerenciamento do Sistema Híbrido do CEAMAZON (Tabora, J. M. et al., 2021).



Para verificação da geração de energia anual do sistema também foi necessário coletar os dados mensais de geração disponibilizados pelos inversores do sistema, que também possuem recursos de armazenamento em memória de massa, para que sejam realizados estudos específicos, como o que o presente trabalho propõe.

3.3 Estrutura da Metodologia

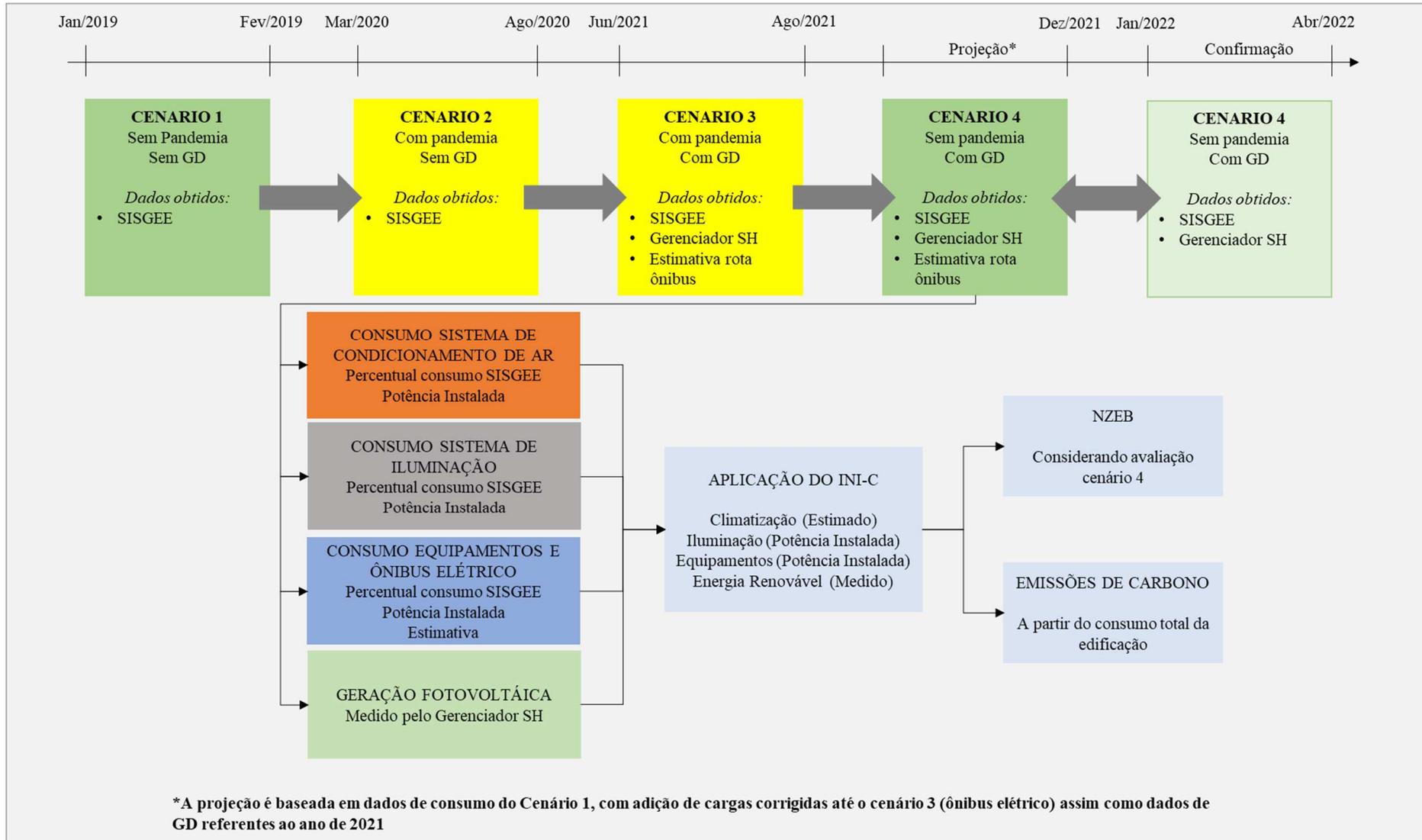
A metodologia do trabalho é apresentada em duas etapas. A primeira se constitui de uma análise de 4 cenários, cada um deles relacionando a um período com dinâmica ocupacional predial específica, em que as transições nos balanços energéticos da edificação sofrem influência dependendo dos episódios ocorridos no contexto da pandemia de COVID-19 e na própria edificação.

Na avaliação de todos os cenários é utilizada a base de dados de consumo do SISGEE. Nos cenários 3 e 4, os dados de consumo dos veículos elétricos são demonstrados com base em estimativa, e, nesses mesmos cenários, são apresentadas as avaliações de balanço energético com os dados de GD obtidos pelo Sistema de gerenciamento do SH. No cenário 4, considera-se uma eventual conjuntura pós pandemia, demonstrando-se as primeiras confirmações de parte dessa projeção com base nos dados obtidos nos primeiros meses de 2022, apresentando-se, ainda, uma breve análise crítica da instalação.

Ao final da análise por cenários observados, é introduzida a segunda etapa do trabalho, em que é realizada a aplicação resumida da INI-C, principalmente para os sistemas com dados disponíveis, como é o caso dos sistemas de iluminação e equipamentos de uso geral da edificação. Em relação ao sistema de climatização, cujo dimensionamento depende diretamente da análise de envoltória, o consumo é estimado baseado na avaliação dos demais sistemas e considerações referentes à análise por cenários realizada na primeira etapa.

Obtidos os dados de geração de energia elétrica por fonte renovável na estimativa do cenário 4, e identificada sua influência para a metodologia de avaliação para edificações NZEB, bem como o consumo total da edificação obtido pelas equações algébricas da INI-C, é então realizada a complementação da análise em quantificação de emissões de dióxido de carbono. O fluxograma da metodologia aplicada ao trabalho é mostrado na Figura 10.

Figura 10: Fluxograma da metodologia aplicada no trabalho.



3.4 Estrutura da INI-C

A INI-C especifica os critérios e os métodos para classificação de edificações considerando-se o consumo de energia dos quatro sistemas avaliados: envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água (PBEEDIFICA, 2021). Dependendo da edificação nem todos os sistemas podem ser avaliados, como é o caso do CEAMAZON, uma vez que se encontra em uma região onde a temperatura ambiente não necessita de aquecimento de água, por esse motivo não se aplica a avaliação de sistema de aquecimento de água orientado pela instrução normativa.

A classificação de envoltória da edificação pode ser realizada mediante a comparação da carga térmica anual total para refrigeração na condição real e de referência, ou seja, em condições mínimas a classificação D. Essa avaliação considera parâmetros e características físicas que compõem a estrutura predial, exemplo: cobertura, fachadas, aberturas, áreas e padrões de ocupação de acordo com uso, entre outros. Um método de avaliação simplificado para envoltória pode ser obtido a partir de simulação computacional dos parâmetros disponíveis.

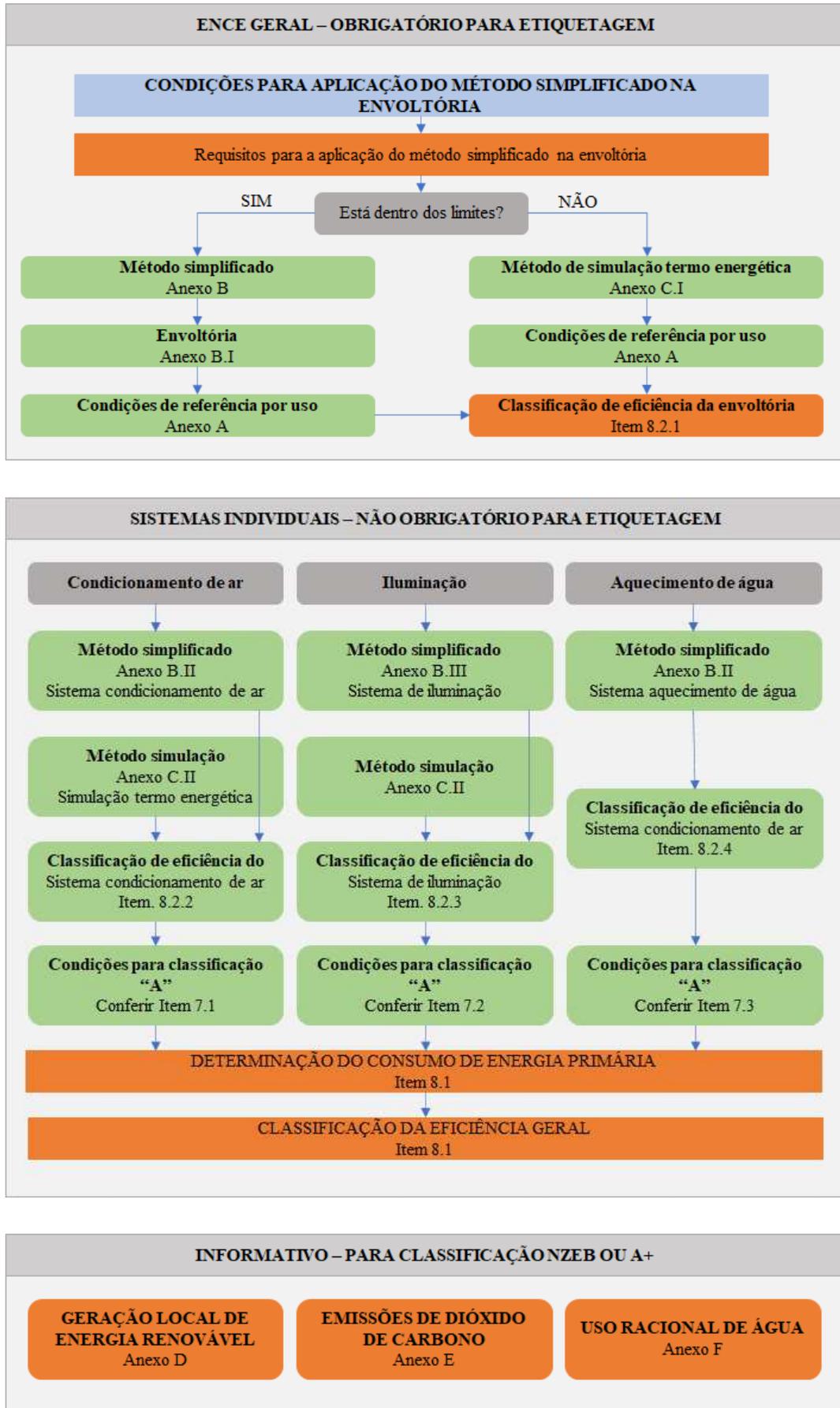
Para este trabalho, não será avaliada a envoltória, porém serão estimados valores a partir dos cálculos e avaliação dos demais sistemas. Esses cálculos e estimativas são necessários para estabelecer critérios comparativos com os dados de consumo verificados durante os cenários de avaliados, assim como estabelecer um critério informativo para NZEB e emissões de carbono para a edificação.

No caso do sistema de iluminação, é verificada a potência de iluminação total instalada, que resulta nos consumos para a condição real e de referência. Assim como na avaliação do sistema de envoltória, o sistema de iluminação também possui uma metodologia simplificada de avaliação, em que pode ser avaliado através de simulação computacional.

Os dados de iluminação natural podem ser contabilizados em ambos os métodos, uma vez que influi diretamente no tempo de uso de iluminação artificial. A classificação é realizada considerando-se o uso da edificação, ou dos ambientes (a depender do método adotado para tal, seja das atividades ou do edifício), obtendo-se o valor da potência de iluminação limite para as classes D e A (PBEEDIFICA, 2021).

São mostrados na Figura 11, todas as etapas para avaliação dos tópicos disponíveis para aplicação da INI-C.

Figura 11: Fluxograma de aplicação da INI-C (PBEEDIFICA, 2021)



Pelo fluxograma da Figura 11, ressalta-se que a avaliação da envoltória é obrigatória em todas as avaliações que visam à etiquetagem. Já os outros sistemas individuais (condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água) não são obrigatórios. Porém, é necessário obter a avaliação de todos estes sistemas (quando aplicável, no caso de aquecimento de água) para a obtenção da classificação de eficiência energética geral na etiqueta (PBEEDIFICA, 2021).

Para os casos informativos da etiqueta, como no caso da geração local de energia renovável, os critérios para a determinação do percentual de acréscimo ou redução das emissões de CO₂ e uso racional de água são descritos respectivamente nos Anexos D, E e F da INI-C. Esses critérios refletem em um aumento no nível de eficiência para edificações que possuem energia renovável local, sendo possível classificá-la de acordo com o Anexo D em NZEB ou em uma Edificação de Energia Positiva (EEP). A classificação A+ é restrita às EPPs, ou seja estão relacionadas as edificações em que a geração de energia renovável produzida é superior à sua demanda anual de energia, logo o BE é positivo entre geração e consumo.

Na metodologia da INI-C, a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) pode ser subdividida em três configurações:

1. ENCE Geral: pode ser emitida para projeto e edificações, ou parcela das edificações, construídas que foram submetidas à avaliação de todos os sistemas aplicáveis como envoltória, iluminação, condicionamento de ar e aquecimento de água, sendo apenas este último dispensável quando a edificação não possuir este sistema.
2. ENCE Parcial: pode ser emitida para projeto e edificações, ou parcela das edificações, construídas com avaliação de uma ou mais combinações entre a envoltória e os sistemas de iluminação, condicionamento de ar e aquecimento de água, quando aplicável.
3. ENCE Declarada: esta etiqueta só pode ser emitida na etapa de projeto. Para a fase em que a edificação se encontra construída é necessário emitir a ENCE Geral, com entrega do *as built* (como construído) dos sistemas avaliados por declaração na etapa de projeto. Outra opção é ter a emissão da ENCE Parcial, com avaliação apenas dos sistemas entregues.

Para todos os tipos de etiqueta o *QR Code* deve ser desenvolvido pelo Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) e dar acesso à página do PBE Edifica, onde ficarão armazenadas as ENCE juntamente com as respectivas páginas complementares.

O OIA é uma empresa que, após se adequar aos requisitos e normas aplicáveis, é autorizado pelo INMETRO a realizar inspeções em um escopo definido, com critérios de aprovação do item inspecionado. A lista de OIA bem como a lista de etiquetas já emitidas pode ser consultada no site do INMETRO (ELETROBRAS, 2014).

As Figuras 12, 13 e 14 apresentam as primeiras páginas das etiquetas para as respectivas configurações Geral, Parcial e Declarada. Nas Figuras 15 e 16 mostram as páginas complementares da ENCE, contendo respectivamente a classificação dos sistemas e condições de avaliação para a classificação da edificação.

Ressalta-se que para o exemplo mostrado na Figura 12 e 15, mostram o indicativo de classificação EEP, uma vez que possui a classificação de energia positiva A+.

Figura 12: Primeira página da ENCE Geral (PBEEDIFICA, 2021)



INMETRO
PBE Edifica

Eficiência Energética

Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

Edificação: XXXXXXXX xxxxxxxxxxxxxxxx

Identificação da unidade consumidora: Xxxxx
 Endereço: Xxxxxxxxxxxxxx Xxxxxxxxxxxxxxxxxx
 Cidade/UF: Xxxxx/XX
 Portaria INI-C: Xxxxxx
 Portaria RAC: Xxxxxx
 Data da ENCE do projeto: XX/XX/XXXX

ENCE PROJETO

ENCE EDIFICAÇÃO CONSTRUÍDA

O nível de eficiência energética alcançado deve ser confirmado pela **ENCE DA EDIFICAÇÃO CONSTRUÍDA**

Mais eficiente



Menos eficiente

Estimativa do Consumo Anual de Gás*: XX,XX m³/ano
 Estimativa do Consumo Anual de Energia Elétrica*: XXX.XXX,XX kWh/ano
 Estimativa do Consumo de Energia Primária da Edificação*: XXX.XXX,XX kWh/ano
 * Consumo baseado nas condições de avaliação, página 3.

CLASSIFICAÇÃO PARCIAL DA EDIFICAÇÃO



Edificação completa
(sem a geração)





Geração de energia renovável

Geração: XX%
Edificação NZEB / Energia Positiva

Energia gerada: XX.XXX kWh/ano



Uso racional de água

Economia: XX%

Equipamentos economizadores: XX%
Aproveitamento da água da chuva: XX%



Emissões de CO₂

Emissões CO₂: ↓ XX%
redução/neutralização em relação à condição de referência (0)

Emissões: XXX t CO₂/ano

Observações: 1 - A etiqueta de projeto tem validade de 5 anos ou até ser emitida a etiqueta da edificação construída.
 2 - Para verificar a validade da etiqueta, consulte a página eletrônica do INMETRO: www.inmetro.com.br.











1/3

Figura 13: Primeira página da ENCE Parcial (PBEEDIFICA, 2021)

INMETRO
PBE Edifica

Eficiência Energética Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

Edificação: XXXXXXXX xxxxxxxxxxxxxxxx
Identificação da unidade consumidora: Xxxxx
Endereço: XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX
Cidade/UF: XXXXX/XX
Portaria INI-C: XXXXXX
Portaria RAC: XXXXXX
Data da ENCE de projeto: XX/XX/XXXX

ENCE PROJETO ENCE EDIFICAÇÃO CONSTRUÍDA

O nível de eficiência energética alcançado deve ser confirmado pela ENCE DA EDIFICAÇÃO CONSTRUÍDA

Mais eficiente

A
B
C
D
E

Menos eficiente

AVALIAÇÃO PARCIAL

CLASSIFICAÇÃO PARCIAL DA EDIFICAÇÃO

 ENVOLTÓRIA Percentual de Economia: XX% C	 AR CONDICIONADO (REFRIGERAÇÃO) Percentual de Economia: XX% B
 ILUMINAÇÃO Percentual de Economia: XX% D	 AQUECIMENTO DE ÁGUA Percentual de Economia: XX% D

* Consumo baseado nas condições de avaliação, página 3

Observações: 1 - A etiqueta de projeto tem validade de 5 anos ou até ser emitida a etiqueta da edificação construída.
2 - Para verificar a validade da etiqueta, consulte a página eletrônica do INMETRO: www.inmetro.com.br

1/3

Figura 14: Primeira página da ENCE Declarada (PBEEDIFICA, 2021)

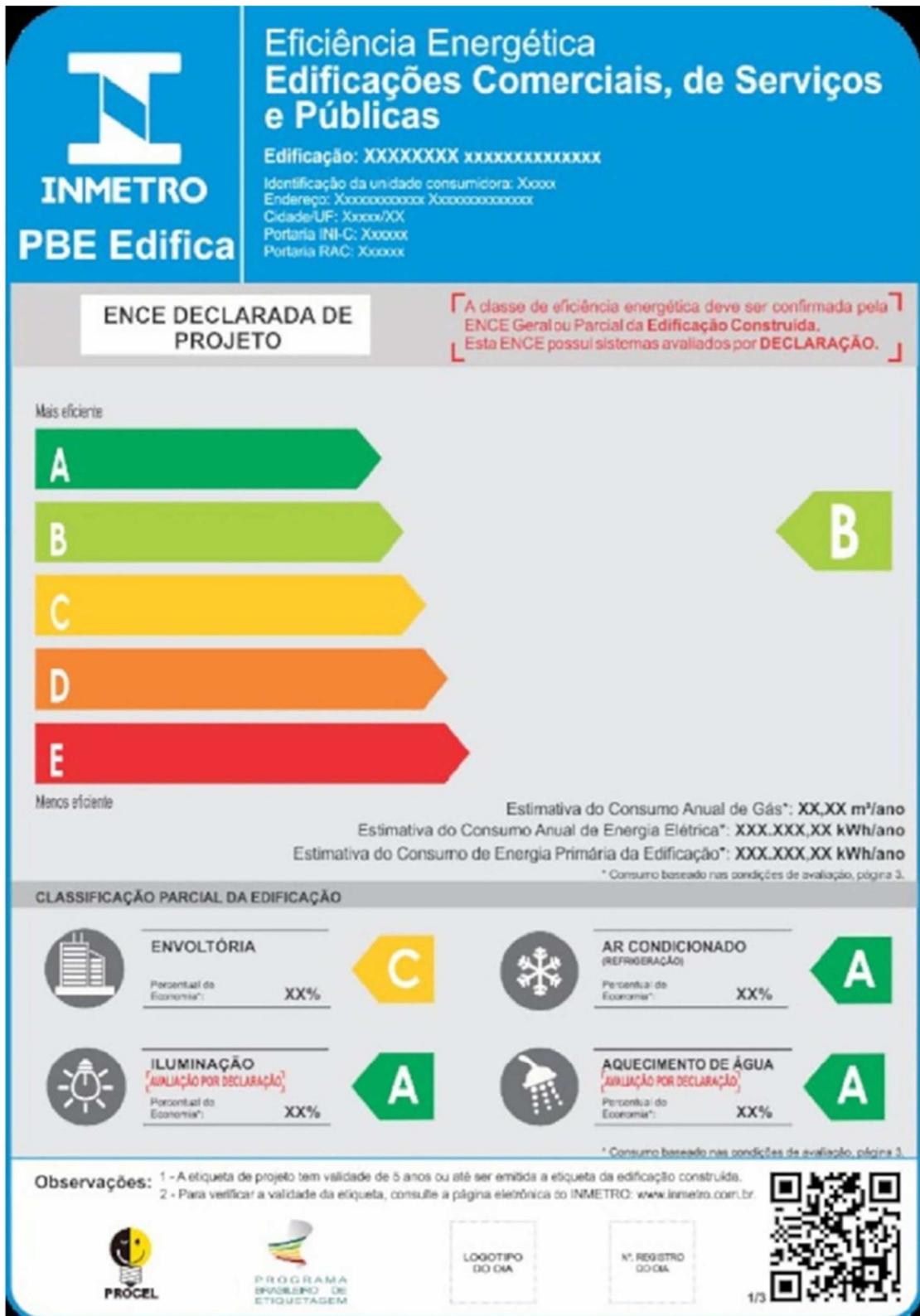


Figura 15: Segunda página da ENCE (PBEEDIFICA, 2021)



INMETRO
PBE Edifica

Eficiência Energética

Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

Edificação: XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX
Identificação da unidade consumidora: XXXXX XXX

CONDIÇÃO DE AVALIAÇÃO	
	<p>Tipologia: Educacional - Ensino Superior <i>conforme anexo A IN-C</i></p> <p style="font-size: x-small; margin-top: 10px;">Horas de ocupação por dia: 8 horas <i>(conforme Anexo A)</i> Dias de ocupação por ano: 200 dias <i>(conforme Anexo A)</i> Ocupação: 1,5 m² pessoa <i>(conforme Anexo A)</i></p>
ENVOLTÓRIA	
	<p>Área total: XX.XXX,XX m²</p> <p>Condição real Carga térmica: X.XXX,XX kWh/ano Entorno considerado: Sim/Não Principais características: Propriedade térmica dos materiais, tipo de vidro, sombreamento...</p> <p>Condição de referência Carga térmica: X.XXX,XX kWh/ano Paredes externas: Bloco cerâmico furado de 9 cm, com argamassa interna e externa (2,5 cm) Cobertura externa: Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm) Vidro simples incolor 6mm</p>
ILUMINAÇÃO	
	<p>Área iluminada: X.XXX,XX m²</p> <p>Condição real DPI: XX,XX W/m² Uso de sensores: Tipo de sensores utilizados Locais com sensores: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx Método do edifício completo / atividades do edifício</p> <p>Condição de referência DPI: XX,XX W/m²</p> <p>Requisitos para classe A Potencial de integração com a luz natural: Método utilizado Contribuição da luz natural: Atende XX% Controle Local: Atende XX% Desligamento automático: Atende XX%</p>
CONDICIONAMENTO DE AR	
	<p>Área condicionada: X.XXX,XX m²</p> <p>Condição real Sistema: Tipo de sistema avaliado Coeficiente de eficiência: (COP, IDRS ou SPLV) Método utilizado: COP / IDRS / CSPF / SPLV / fator de ponderação K / simulação computacional</p> <p>Condição de referência Coeficiente de eficiência: (COP, IDRS ou SPLV)</p> <p>Requisitos para classe A Eficiência dos equipamentos: Atende/Não Atende/NA Isolamento Térmico: Atende/Não Atende/NA Requisitos do sistema central: Atende/Não Atende/NA</p>
ÁGUA QUENTE	
	<p>Condição real Sistema: Tipo de sistema avaliado Capacidade: XX L Eficiência/Rendimento/Fração solar: XX%</p> <p>Condição de referência Sistema: Chuveiro elétrico/Boiler elétrico Eficiência: 0,95 / 0,85</p> <p>Requisitos para classe A Automação do sistema de recirculação: Atende/Não Atende/NA Isolamento térmico do circuito de recirculação: Atende/Não Atende/NA Reservatório de água quente: Atende/Não Atende/NA Sistema de controle de múltiplos aquecedores: Atende/Não Atende/NA</p>
EQUIPAMENTOS	
	<p>DPE= XX,XX W/m² DPE padrão da tipologia/ levantada em projeto</p> <p>Considerações: elevadores e data centers não foram considerados no consumo final dos equipamentos.</p>
GERAÇÃO	
	<p>Tipo de energia renovável utilizada: ex. fotovoltaica Estimativa da geração local: XXX.XXX,XX kWh/ano</p> <p>Características do sistema, como quantidade de painéis fotovoltaicos e local de instalação, conforme projeto.</p>
USO RACIONAL DA ÁGUA	
	<p>Oferta de água pluvial: XXX,XX L/ano Equipamentos economizadores e suas respectivas vazões Bacia sanitária (6 e 3 L/fluxo); Torneiras (12 L/min)</p> <p>Equipamentos economizadores e suas respectivas vazões de referência (Tabela F.1)</p>





LOGOTIPO DO CIA.

Nº. REGISTRO DO CIA.

3/3

Figura 16: Terceira página da ENCE (PBEEDIFICA, 2021)



INMETRO
PBE Edifica

Eficiência Energética

Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

Edificação: XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX
Identificação da unidade consumidora: XXXXX XXX

CLASSIFICAÇÃO PARCIAL DOS SISTEMAS DA EDIFICAÇÃO

	Envoltória Áreas Condicionadas Carga Térmica XXX kWh/ano XXXX kWh/ano/m²	Ventilação Natural Percentual de horas atendidas XX,X%	Simplificado	
	Energia elétrica XXX kWh/ano XXXX kWh/ano/m²	Potencial de integração com a luz natural XX,X%	Simplificado	
	Energia elétrica: Resfriamento XXX kWh/ano XXXX kWh/ano/m² Energia elétrica: Aquecimento XXX kWh/ano XXXX kWh/ano/m²	Energia térmica: Resfriamento XXX m³/ano XXXX m³/ano/m² Energia térmica: Aquecimento XXX m³/ano XXXX m³/ano/m²	Simplificado Simulação	
	Energia primária XXX kWh/ano XXXX kWh/ano/m²	Energia elétrica XXX kWh/ano XXXX kWh/ano/m² Energia térmica XXX m³/ano XXXX m³/ano/m²	Simplificado	
	Energia elétrica XXX kWh/ano XXXX kWh/ano/m²		Simplificado	

CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO COMPLETA

	Edificação completa XX% de economia em relação a condição de referência	Energia primária XXX kWh/ano XXXX kWh/m² Geração de energia XXX kWh/ano XXXX kWh/m²	Energia elétrica XXX kWh/ano XXXX kWh/m² Energia térmica XXX m³/ano XXXX m³/m²	Simplificado	
---	---	--	---	--------------	---





PROGRAMA
BRASILEIRO DE
ETIQUETAGEM

LOGOTIPO
DO OIA

Nº. REGISTRO
DO OIA

2/3

Como já mencionado, com exceção aos sistemas de aquecimento de água, que não se aplica ao CEAMAZON, todos os demais sistemas podem ser avaliados a partir do método simplificado ou pelo método de simulação. A seguir serão apresentados os requisitos de aplicação elegíveis para utilização do método simplificado para avaliação de envoltória, bem como a determinação de consumo dos sistemas de condicionamento de ar, iluminação, aquecimento de água (que não se aplica ao caso em estudo) e equipamentos.

3.4.1 Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória

O método simplificado para a avaliação das zonas térmicas condicionadas artificialmente, ou parcelas da edificação condicionadas artificialmente, abrange grande parte das soluções arquitetônicas mais difundidas (PBEEDIFICA, 2021); mas para sua aplicação é necessário o atendimento de especificações e condições construtivas. Para edificações condicionadas artificialmente é necessário atender aos intervalos utilizados na proposição do método disponíveis na Tabela 5. Em edificações mais específicas com soluções de desempenho inovadoras, assim como edificações que possuem sistema de aquecimento ambiental, devem ser avaliadas utilizando-se o método de simulação.

Tabela 5: Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória pelo método simplificado (PBEEDIFICA, 2021)

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

A referida avaliação de envoltória pelo método simplificado é realizada com base em metamodelos desenvolvidos por meio de redes neurais artificiais. A rede neural é um método baseado em inteligência artificial recomendado para predição de casos não-lineares, como as edificações, em que o método é capaz de aprender com os casos expostos e predizer, neste caso, a carga térmica. Em função das limitações existentes para o metamodelo, algumas edificações como por exemplo as que possuem aberturas zenitais e fachadas ventiladas, não podem ser avaliadas pelo referido método com os limites dos parâmetros descritos na Tabela 5, uma vez que não foram incluídas nos modelos de análise. Assim, as edificações que ultrapassam os limites da Tabela 5 não apresentarão resultados confiáveis, dessa forma precisam ser avaliadas por outro método, como a simulação (PBEEDIFICA, 2021).

3.4.2 Aplicação do método simplificado

Uma vez atendidos os limites dos parâmetros estabelecidos para a edificação, conforme já mostrado na Figura 11, será possível realizar os determinar a avaliação da eficiência energética dos sistemas individuais (envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água) da edificação partir do método simplificado.

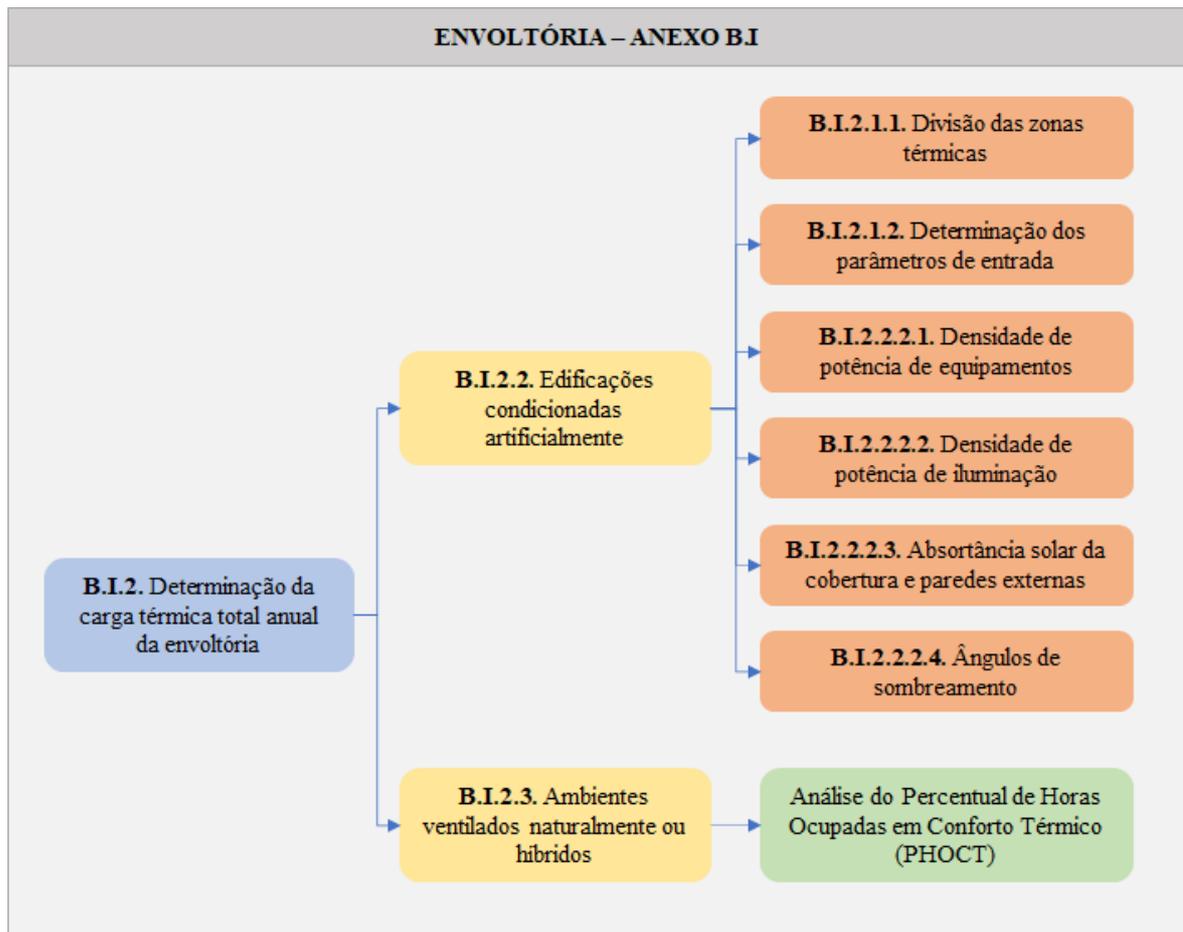
No método simplificado, a edificação é avaliada a partir de duas circunstâncias: nas características que descrevem a edificação em seu conceito construtivo real e nas características de referência específicas e disponíveis na instrução normativa.

3.4.2.1 Envoltória

Com a avaliação de envoltória é possível determinar a carga térmica total anual (C_{gTT}) da edificação real e de referência. A determinação desses parâmetros é necessária para o efetivo dimensionamento do sistema refrigeração a partir de condicionamento de ar, uma vez que depende diretamente da carga térmica.

A estrutura dos tópicos apresentados pode ser observada no fluxograma da Figura 18, em que é possível através desse método avaliar edificações condicionadas artificialmente (caso em do presente estudo), edificações que alternam entre o uso da ventilação natural e artificial (ventilação híbrida), e edificações totalmente ventiladas naturalmente.

Figura 17: Estrutura dos tópicos de avaliação de envoltória (PBEEDIFICA, 2021)

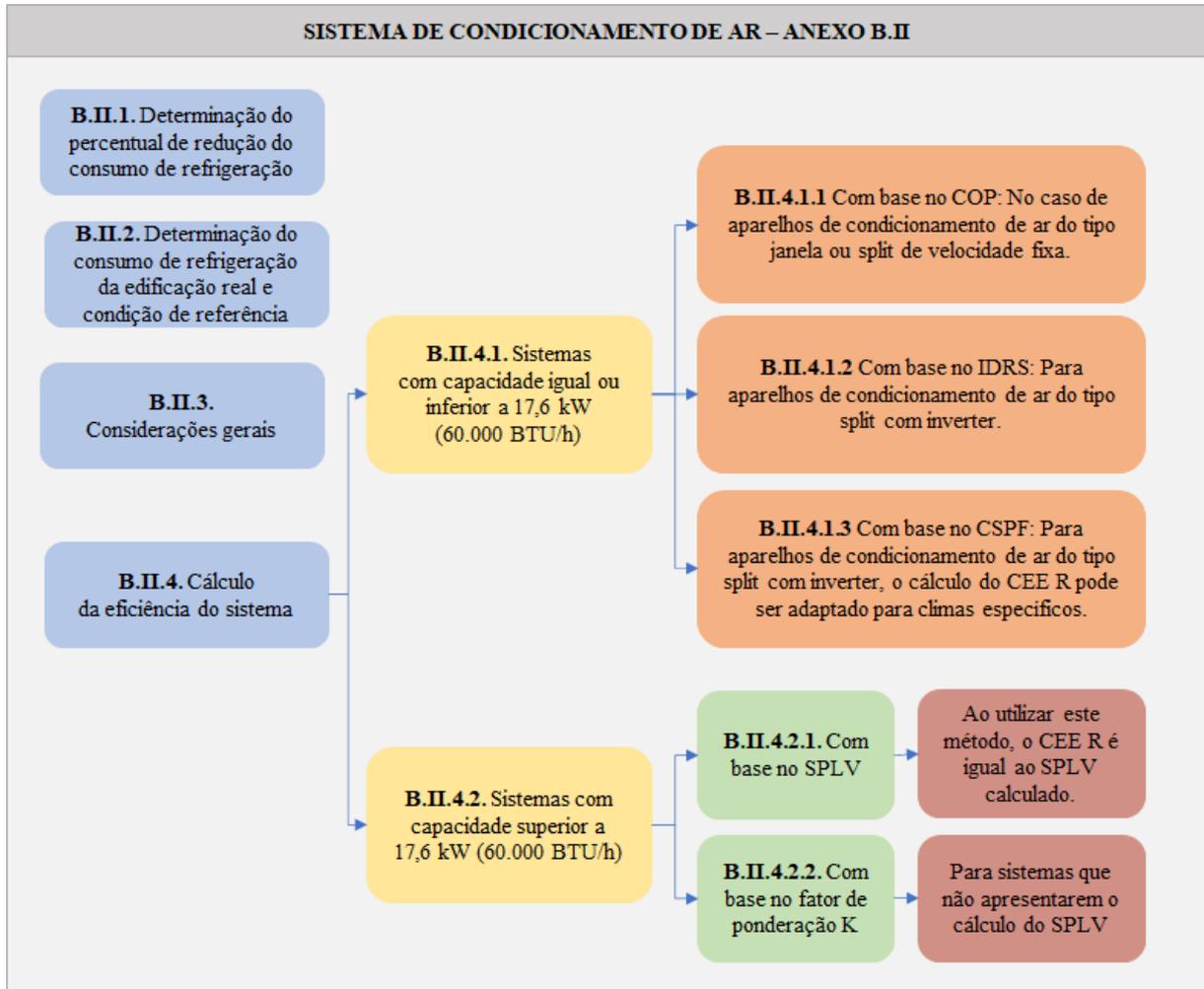


Ainda na estrutura de tópicos, destaca-se a dependência da densidade de potência de equipamentos e iluminação que ao gerar carga térmica, influi diretamente na determinação da carga térmica total da edificação condicionada artificialmente.

3.4.2.2 Sistemas de condicionamento de ar

O procedimento relacionado à avaliação do sistema de condicionamento de ar pode ser observado a partir do fluxograma da Figura 18, em que são descritos entre outros, a determinação do consumo do sistema, bem como do coeficiente de condicionamento de ar para refrigeração (CEE_R).

Figura 18: Estrutura dos tópicos de avaliação do sistema de condicionamento de ar (PBEEDIFICA, 2021)



A determinação do percentual de redução do consumo de refrigeração, proposto no fluxograma da Figura 18, pode ser obtida a partir da Equação 5, onde são necessários os valores de consumo de refrigeração da edificação na sua condição real e de referência:

$$RedC_R = \left((C_{R,ref} - C_{R,real}) / C_{R,ref} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

Onde:

$RedC_R$ é o percentual de redução do consumo de refrigeração (%);

$C_{R,ref}$ é o consumo de refrigeração da edificação na sua condição de referência (kWh/ano);

$C_{R,real}$ é o consumo de refrigeração da edificação real (kWh/ano).

Para determinar os parâmetros da Equação 5 é necessário solucionar as Equações 6 e 7 em que são dependentes da carga térmica total anual da edificação na sua condição real e de referência, respectivamente:

$$C_{R,real} = CgTT_{real}/CEE_R \quad (6)$$

Onde:

$C_{R,real}$ é o consumo de refrigeração da edificação real (kWh/ano);

$CgTT_{real}$ é a carga térmica total anual (kWh/ano) da edificação real;

CEE_R é coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar para refrigeração.

De acordo com o fluxograma da Figura 18, existem cinco métodos para o cálculo do CEE_R , que estão relacionados à capacidade e o tipo do sistema de condicionamento de ar, para sistemas com capacidade igual ou inferior a 17,6 kW (60.000 BTU/h) ou com capacidade superior a 17,6 kW (60.000 BTU/h).

$$C_{R,ref} = CgTT_{ref}/2,6 \quad (7)$$

Onde:

$C_{R,ref}$ é o consumo de refrigeração da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

$CgTT_{ref}$ é a carga térmica total anual (kWh/ano) da edificação em sua condição de referência.

Como já mencionado, observa-se que as equações são dependentes dos cálculos de carga térmica na condição de referência, conseqüentemente imprescindível a avaliação de envoltória considerando os valores, que para o caso em estudo são de referência para edificações educacionais, conforme Tabela 6. Também é observado que na condição de referência em todos os sistemas o CEE_R é 2,6, conforme mostrado Equação 7.

Tabela 6: Valores de referência para edificações educacionais (PBEEDIFICA, 2021)

Uso típico	Edificações educacionais			
	Condição real	Condição de referência		
		Educação infantil	Ensino fundamental e médio	Ensino superior
Geometria				
Área (m ²)	Condição real			
Orientação solar	Condição real			
Pé-direito (piso a teto) (m)	Condição real			
Aberturas				
PAF - Percentual de área de abertura da fachada (%)	Condição real	40 (0,40)		
Componentes construtivos				
Parede	Condição real	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)		
U _{par} - Transmitância da parede externa (W/m ² K)	Condição real	2,39		
α _{PAR} - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0,5		
CT _{par} - Capacidade térmica da parede externa (kJ/m ² K)	Condição real	150		
Cobertura	Condição real	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)		
U _{cob} - Transmitância da cobertura (W/m ² K)	Condição real	2,06		
α _{COB} - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8		
CT _{cob} - Capacidade térmica da cobertura (kJ/m ² K)	Condição real	233		
Vidro	Condição real	Vidro simples incolor 6mm		
FS – Fator solar do vidro (adimensional) U _{vid}	Condição real	0,82		
U _{vid} - Transmitância do vidro (W/m ² K)	Condição real	5,7		
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	Condição real	0		
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0		
AOV - Ângulo de obstrução vizinha (°)[1]	Condição real			
Iluminação e ganhos				
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	Condição real	15,5 [2]		
Ocupação (m ² /pessoa)	Condição de referência	2,5	1,5	1,5

DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)[3] Horas	Condição de referência	15,0
Horas de ocupação (horas)	8	
Dias de ocupação (Nano)[4]	200	
Situação do piso	Condição real	
Situação da cobertura	Condição real	
Isolamento do piso	Condição real	Sem isolamento
Condicionamento de ar (refrigeração)		
COP - Coeficiente de performance (W/W)	Condição real	2,60
Temperatura setpoint (°C) [5]	24,0	
Aquecimento de água [6]		
Eficiência do sistema de aquecimento de água sem	Condição real	0,95
Temperatura de uso de água quente	38 °C (norte e nordeste) 40 °C (demais regiões)	
Temperatura de uso de água fria (°C)	Condição real	
Perdas na tubulação – sistema de aquecimento de água sem acumulação	Condição real	0
Perdas de armazenamento – sistema de aquecimento de água sem acumulação	Condição real	0
Perdas da recirculação – sistema de aquecimento de água sem acumulação	Condição real	0
Perdas na tubulação – sistema de aquecimento de água com acumulação	Condição real	0
Perdas de armazenamento – sistema de aquecimento de água com acumulação	Condição real	0
Perdas da recirculação – sistema de aquecimento de água com acumulação	Condição real	0
Perdas na tubulação – sistema de aquecimento de água com acumulação	Condição real	Isolamento de 5 mm, $\lambda=0,03$ W/m.K
Perdas de armazenamento – sistema de aquecimento de água com acumulação	Condição real	
Perdas da recirculação – sistema de aquecimento de água com acumulação	Condição real	

[1] A utilização do ângulo de obstrução por vizinhança (AOV) é opcional e deve seguir as diretrizes do RAC.

[2] Adotar este valor para a avaliação parcial da envoltória no caso da utilização do método do edifício completo (Subitem B.III.4.1). Para o método da atividade dos edifícios e potência ajustada, devem ser adotados os valores de potência de iluminação limite (DPI_L) para a classificação D.

[3] Em casos em que se deseje utilizar os valores reais ou levantados por meio de projeto, a DPE para a condição real e de referência devem ser iguais. Caso sejam adotados valores não tabelados, deve ser entregue memorial de cálculo e declaração de responsabilidade técnica (ART/RRT).

[4] Os dias de ocupação desta tipologia foram calculados com base na média de dias úteis por ano, excluindo-se os meses de férias, feriados nacionais e fins de semana.

[5] Caso exista a necessidade da edificação operar com um *setpoint* diferente, deverá ser entregue uma carta de justificativa ao OIA, seguindo-se então com o método de simulação; nestes casos, deve-se utilizar o mesmo *setpoint* para a edificação real e sua condição de referência.

[6] Válido para edificações educacionais com alojamento/internatos. a Sistema de referência: chuveiro elétrico b Sistema de referência: **boiler** elétrico.

Algumas considerações são feitas na INI-C, como por exemplo a necessidade de fazer parte da avaliação do sistema de condicionamento de ar quando houver áreas condicionadas no subsolo. No caso destes ambientes atenderem múltiplas edificações, tornando-se necessário dividir a área do subsolo entre as edificações atendidas pelo sistema, cujas áreas das projeções devem ser distribuídas proporcionalmente em zonas térmicas.

Quando for observado um embasamento único, comum a diferentes blocos edificadas, com apenas um ambiente de permanência transitória (ex.: hall e garagem), o condicionamento deve ser considerado de forma proporcional às áreas dos blocos, assim como no caso da avaliação em subsolo.

Edificações que possuam blocos de edifícios interligados por um ou mais blocos condicionados, em que no conjunto pertençam à um mesmo sistema central de ar-condicionado que atende os blocos principais, o sistema deve ser avaliado como um todo, em que no consumo final deve ser levado em consideração a área condicionada do bloco de ligação.

Caso a edificação possua pátio ou jardim de inverno descoberto, por se configurarem como ambientes externos, o condicionamento de ar nesse caso não poderá ser avaliado. Diferentemente desses casos em que existam cobertura, configurando-se como ambiente interno, logo devem ser avaliados. No caso de a área possuir área de permanência prolongada (APP), e não ser condicionado, as horas de conforto devem ser aferidas e avaliadas de acordo com o método específico das edificações ventiladas naturalmente, descrito no subitem B.I.2.3.

Por não existir o condicionamento de ar em áreas que permitam passagem da ventilação natural, pátios ou jardins de inverno nessas condições, não devem ser considerados como ambientes internos.

3.4.3 Aplicação do método simplificado em sistemas de iluminação

Os critérios para avaliação do sistema de iluminação incluem o percentual de redução de consumo, a determinação do consumo do sistema, bem como a potência total instalada na edificação.

Entre os sistemas passíveis de avaliação estão os com iluminação artificial e os com iluminação artificial com aproveitamento de luz natural, localizados tanto em áreas internas quanto áreas cobertas como marquises.

De acordo com a INI-C, não se aplicam os sistemas complementares à iluminação geral e com controle independente, que estejam entre os listados a seguir:

- Iluminação de destaque projetada como elemento essencial para iluminar objetos em galerias, museus e monumentos;
- Iluminação contida ou parte integrante de equipamentos ou instrumentos, desde que instalada pelo próprio fabricante, como lâmpadas de refrigeradores e geladeiras;
- Iluminação especificamente projetada para uso exclusivo em procedimentos médicos ou dentários, e iluminação contida em equipamentos médicos ou dentários;
- Iluminação contida em refrigeradores e freezers, tanto abertos quanto fechados por vidro;
- Iluminação totalmente voltada ao aquecimento de alimentos e em equipamentos utilizados em sua preparação;
- Iluminação totalmente voltada ao crescimento de plantas ou para sua manutenção;
- Iluminação em ambientes especificamente projetados para uso de deficientes visuais;
- Iluminação em vitrines de lojas varejistas, desde que a área da vitrine seja fechada por divisórias cuja altura alcance o forro;
- Iluminação em ambientes internos que sejam especificamente designados como um bem cultural tombado, de acordo com o Instituto do Patrimônio Histórico Artístico Nacional (IPHAN) ou outros órgãos municipais ou estaduais de competência análoga;
- Iluminação totalmente voltada à propaganda ou à sinalização;

- Sinais indicando saída e luzes de emergência;
- Iluminação à venda ou sistemas de iluminação para demonstração com propósitos educacionais;
- Iluminação para fins teatrais, incluindo apresentações ao vivo e produções de filmes e vídeos;
- Áreas de jogos ou atletismo com estrutura permanente para captação de imagens e transmissão pela televisão;
- Iluminação de tarefa conectada diretamente em tomadas, como luminária de mesa.

Destaca-se que os critérios de iluminação artificial além de considerados na avaliação de envoltória, também são utilizados na avaliação individual do sistema de iluminação, em que sua avaliação é obrigatória para a obtenção da ENCE geral e opcional para ENCE parcial, a ser decidido pelo solicitante.

A determinação do percentual de redução do consumo do sistema de iluminação é obtida a partir da Equação 8, onde são necessários os valores de consumo de iluminação da edificação na sua condição real e de referência para classificação D, que será mostrada com mais detalhes a seguir:

$$RedC_{IL} = \left((C_{IL,refD} - C_{IL,real}) / C_{IL,refD} \right) \cdot 100 \quad (8)$$

Onde:

$RedC_{IL}$ é o percentual de redução do consumo de iluminação (%);

$C_{IL,refD}$ é o consumo de iluminação da edificação na sua condição de referência (kWh/ano);

$C_{IL,real}$ é o consumo de iluminação da edificação real (kWh/ano).

O consumo de iluminação da edificação na condição real, pode ser obtida a partir da Equação 9, em que depende basicamente da potência de iluminação total com seu respectivo tempo de uso.

$$C_{IL,real} = (P_{IT} \cdot h \cdot N_{ano}) / 1000 \quad (9)$$

Onde:

$C_{IL,real}$ é o consumo do sistema de iluminação da edificação real (kWh/ano);

PI_T é a potência de iluminação total instalada (W);

h são as horas de uso da edificação por dia;

N_{ano} é o número de dias de ocupação ao ano.

O consumo de iluminação da edificação na condição de referência D ou A, pode ser obtida a partir da Equação 10 (utilizada como referência D), em que depende basicamente da potência de iluminação total (D ou A) com seu respectivo tempo de uso.

$$C_{IL,refD} = (PI_{LD} \cdot h \cdot N_{ano})/1000 \quad (10)$$

Onde:

$C_{IL,ref}$ é o consumo do sistema de iluminação (kWh/ano);

PI_L é a potência de iluminação limite, para a classificação D ou A (W);

h são as horas de uso da edificação por dia;

N_{ano} é o número de dias de ocupação ao ano.

O cálculo da potência instalada de iluminação total leva em consideração todos os conjuntos de luminárias instaladas, incluindo as lâmpadas, reatores, transformadores e sistemas de controles.

No caso de existirem dois ou mais sistemas de iluminação independentes para atendimento das atividades de um mesmo espaço, a avaliação deve considerar a potência instalada do sistema de maior potência, caso o sistema de controle impeça o uso simultâneo dos respectivos sistemas de iluminação.

A potência de iluminação total da edificação é obtida pela Equação 11, em que são consideradas as parcelas de iluminação sem controle automatizado e a parcela de luminárias controladas por sensores, devendo esta última ser nula quando não houver sensores.

$$PI_{Treal} = \sum (PI_U) + \sum (PI) + P_{ASP} \quad (11)$$

Onde:

PI_{Treal} é a potência de iluminação total (W);

PI_U é a potência de iluminação em uso (W);

PI é a potência de iluminação sem controle automatizado (W);

P_{ASP} é a potência de iluminação de ambientes sem projeto luminotécnico, ou, sem sistema instalado no momento da inspeção em campo da edificação (W).

Também há um fator que considera a potência de iluminação de ambientes sem projeto luminotécnico, ou, sem sistema instalado no momento da inspeção em campo da edificação, que pode ser obtida a partir da Equação 12.

$$P_{ASP} = (1,5 \cdot PI_{LD}) \quad (12)$$

Onde:

P_{ASP} é a potência de iluminação de ambientes sem projeto luminotécnico, ou, sem sistema instalado no momento da inspeção em campo da edificação (W);

PI_{LD} é a potência de iluminação limite para a classificação D (W).

O fator PI_U da Equação 11, que corresponde à potência de iluminação em uso pode ser calculada por meio da iluminação controlada por sensores, quando aplicável, com seus respectivos fatores de ajuste de potência no caso de sensor de ocupação dimerizável, conforme Equação 13.

$$PI_U = \sum [(PI_C \cdot FAP)] \quad (13)$$

Onde:

PI_U é a potência de iluminação em uso (W);

PI_C é a potência de iluminação controlada por sensores (W);

FAP é o fator de ajuste de potência conforme o tipo de controle.

Para o cálculo de PI_L , que é a potência de iluminação limite, pelo método simplificado é necessário que seja escolhido um dos métodos disponíveis na INI-C, desde que seus respectivos critérios sejam atendidos:

a) Método do edifício completo:

Usado em edificações com no máximo 3 atividades principais distintas, em que é possível agrupar as funções secundárias às principais, destaca-se por ser menos detalhado, o método do edifício completo é utilizado atribuindo um único valor de densidade de potência de iluminação limite, em que correspondam uma ponderação entre as atividades principais e secundárias da edificação.

O cálculo com esse método pode ser obtido a partir da Equação 14, em que pode ser realizado para cada uma das classificações individualmente (A ou D), conforme valores de densidade de potência limite para as funções disponíveis na Tabela 7.

$$PI_L = \sum_{i=1}^{n=3} [(A_i \cdot DPI_L)] \quad (14)$$

Onde:

PI_L é a potência de iluminação limite para cada classificação (A ou D) em W;

n é um número equivalente à quantidade de atividades principais da edificação, sendo no máximo três atividades;

A_i é a área iluminada para cada uma das atividades, se houver mais de uma (m²);

DPI_L é a densidade de potência limite para cada uma das funções, se houver mais de uma, em W/m².

Tabela 7: Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_L) para a classificação de eficiência pretendida – método do edifício completo (PBEEDIFICA, 2021)

Função do edifício	DPI_L Classif. A (W/m²)	DPI_L Classif. D (W/m²)
Academia	7,0	13,8
Armazém	5,2	10,3
Biblioteca	8,4	18,4
Bombeiros	5,7	11,0
Centro de convenções	8,7	16,8
Cinema	8,9	12,9
Comércio	11,4	21,9
Correios	7,2	13,6

Venda e locação de veículos	7,6	12,8
Escola/universidade	8,7	15,5
Escritório	8,5	14,1
Estádio de esportes	9,4	12,2
Garagem – edifício garagem	1,6	3,9
Ginásio	7,3	15,7
Hospedagem, dormitório	6,6	9,6
Hospital	11,3	18,9
Hotel	8,1	15,7
Igreja/templo	10,1	16,4
Restaurante	8,4	13,9
Restaurante: Bar/lazer	10,7	15,5
Restaurante: <i>Fast-food</i>	8,5	14,1
Museu	11,4	16,5
Oficina	11,2	18,7
Penitenciária	8,6	15,1
Posto de saúde/clínica	8,8	13,6
Posto policial	8,6	14,9
Prefeitura – Instituição governamental	8,6	14,4
Teatro	12,7	21,8
Transportes	6,8	12,0
Tribunal	9,7	16,4

b) Método das atividades do edifício:

São estabelecidos valores de densidade de potência de iluminação de maneira individual para atividades principais e secundárias. Apesar desse método resultar maior complexidade, ele oferece maior margem de liberdade para classificação de acordo com a descrição do sistema de iluminação utilizado no determinado recinto.

O cálculo com esse método pode ser obtido a partir da Equação 15, em que pode ser realizado para cada uma das classificações individualmente (A ou D), conforme valores de densidade de potência limite para as atividades disponíveis na Tabela 8.

Nota-se que apesar da semelhança com a Equação 14, diferentemente do método do edifício completo, a Equação 15 não estabelece um limite de 3 funções ou atividades para o somatório de potências de iluminação, refletindo em uma melhor versatilidade do método.

$$PI_L = \sum_{i=1}^n [(A_i \cdot DPI_L)] \quad (15)$$

Onde:

PI_L é a potência de iluminação limite para cada classificação (A ou D) em W;

n é um número equivalente à quantidade de atividades da edificação;

A_i é a área iluminada para cada uma das atividades, se houver mais de uma (m²);

DPI_L é a densidade de potência limite para cada uma das atividades, se houver mais de uma (W/m²).

Tabela 8: Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para a classificação de eficiência pretendida – método das atividades do edifício (PBEEDIFICA, 2021)

Ambientes/Atividades	DPI_L Classif. A (W/m²)	DPI_L Classif. D (W/m²)
Armazém, atacado		
Material pequeno/leve	7,45	16,32
Material médio/volumoso	3,80	8,00
Átrio – por metro de altura		
até 12,20 m de altura	0,10 W/m	0,48 W/m
acima de 12,20 m de altura (4,30W/m ² somado à parcela ao lado)	0,07 W/m	0,32 W/m
Auditórios e Anfiteatros		
Auditório	11,50	13,60
Centro de convenções	11,50	14,08
Cinema	12,25	14,97
Penitenciária	11,50	13,59
Teatro	21,85	41,92
Banco/escritório – área de atividades bancárias	10,00	23,84
Banheiros	9,15	13,73
Biblioteca		
Área de arquivamento	6,00	12,48
Área de leitura	8,85	16,00
Área de estantes	12,90	29,44
Casa de máquinas	4,65	9,60
Centro de convenções		
Espaço de exposições	9,50	24,96
Circulação	7,10	11,36

Área de vendas	13,15	28,96
Provador	5,40	16,32
Cozinhas	11,40	17,12
Depósitos	4,95	8,00
Dormitórios – alojamentos	6,65	10,47
Escadas	6,25	11,84
Escritório	10,00	19,04
Escritório – planta livre	8,70	16,80
Garagem	1,50	3,20
Ginásio/ Academia		
Área de ginástica	8,85	12,48
Arquibancada	7,00	13,00
Esportes de ringue	26,40	46,08
Quadra de esportes – classe 4[1]	12,15	18,85
Quadra de esportes – classe 3[2]	18,30	28,37
Quadra de esportes – classe 2[3]	21,10	33,12
Quadra de esportes – classe 1[4]	26,60	51,84
Hall de entrada – vestíbulo		
Elevador	7,45	8,32
Cinemas	4,85	12,80
Hotel	11,40	12,80
Salas de espetáculos	18,30	20,50
Outros	10,80	12,07
Hospital		
Circulação	9,90	15,36
Emergência	18,10	38,88
Enfermaria	10,75	15,20
Exames simples	14,45	22,85
Exames/tratamento	18,10	28,64
Farmácia	14,40	19,68
Fisioterapia	9,05	15,68
Sala de espera, estar	8,40	18,40
Recuperação	11,10	19,84
Sala de enfermeiros	9,40	15,04
Sala de operação	23,35	32,48
Quarto de pacientes	6,65	10,72
Suprimentos médicos	5,80	21,92
Igreja/ Templo		
Assentos	16,50	26,40
Altar, coro	16,50	26,40
Sala de comunhão – nave	5,90	11,04
Laboratórios		
para salas de aula	12,90	16,32
médicos e pesquisa	15,60	31,20
Lavanderia	4,65	10,40
Museus		
Restauração	9,15	17,60
Sala de exibição	11,50	18,08

Oficina mecânica	7,05	9,60
Oficina – seminário, cursos	12,25	27,36
Quartos de hotel	8,30	13,00
Refeitório	6,80	18,40
Salão	7,65	15,36
Lanchonete/café	6,80	11,20
Bar/lazer	10,00	14,08
Refeitório de penitenciária	10,35	20,66
Sala de Aula, treinamento	9,90	16,32
Sala de espera, convivência	7,55	9,60
Sala de reuniões, conferência, multiuso	11,50	19,04
Vestiário	5,15	12,96
Transportes		
Área de bagagem	4,85	12,00
Aeroporto – Pátio	3,35	6,24
Assentos – Espera	6,65	9,28
Terminal – bilheteria	10,00	18,56
Necessidades visuais especiais [5]		
Área de refeição	21,55	43,06
Área de uso comum	19,35	31,96
Corredor	9,90	16,04
Hall de entrada	21,85	24,47
Banheiro	10,35	15,50

[1] Para quadras de jogos sociais e de recreação apenas, não considera a presença de espectadores.

[2] Para estádios e ginásios de jogos classificatórios, considerando a presença de espectadores.

[3] Para competições em estádios e ginásios com capacidade para menos de 5.000 espectadores.

[4] Para competições em estádios e ginásios de grande capacidade, acima de 5.000 espectadores. Quadras de jogos sociais e de recreação apenas, não considera a presença de espectadores.

[5] Documentação que comprove a existência de necessidade visual para permitir sua aplicação.

3.4.4 Classificação da eficiência energética geral da edificação

Assim como na avaliação dos sistemas individuais, o percentual de redução do consumo estimado de energia primária, pode ser obtido por meio da comparação entre a condição real e a condição de referência da edificação, sendo possível classificar sua eficiência geral, conforme mostra a Equação 16.

$$RedC_{EP} = \left((C_{EP,refD} - C_{EP,real}) / C_{EP,refD} \right) \cdot 100 \quad (16)$$

Onde:

$RedC_{EP}$ é o percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real e condição de referência (%);

$C_{EP,refD}$ é o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

$C_{EP,real}$ é o consumo de energia primária da edificação em sua condição real (kWh/ano).

O consumo de energia primária da edificação real $C_{EP,real}$, conforme demonstrado na Equação 17, é função dos consumos estimados de energia elétrica, térmica (quando se aplica) e a energia gerada a partir de fontes renováveis (quando existente) em que esses fatores são multiplicados pelos respectivos fatores de conversão, que podem ser encontrados na Tabela 9.

Tabela 9: fatores de conversão de eletricidade e gás em energia primária – Brasil (IEE-SP, [s.d.]).

Fator	Energia	Média
f_{c_E}	Eletricidade	1,6
f_{c_T}	Gás	1,1

$$C_{EP,real} = (C_{EE,real} \cdot f_{c_E}) + (C_{ET,real} \cdot f_{c_T}) - (G_{EE} \cdot f_{c_E}) \quad (17)$$

Onde:

$C_{EP,real}$ é o consumo de energia primária da edificação real (kWh/ano);

$C_{EE,real}$ é o consumo total de energia elétrica da edificação real (kWh/ano);

$C_{ET,real}$ é o consumo total de energia térmica da edificação real (kWh/ano);

G_{EE} é a energia gerada por fontes locais de energia renovável (kWh/ano);

f_{c_E} é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

f_{c_T} é o fator de conversão de energia térmica em energia primária.

O consumo de energia primária da edificação real desconsiderando a parcela referente à geração de energia renovável é $C_{EPT,real}$, conforme demonstrado na Equação 18, é função apenas dos consumos estimados de energia elétrica e térmica (quando se aplica) multiplicados pelos respectivos fatores de conversão.

$$C_{EPT,real} = (C_{EE,real} \cdot fc_E) + (C_{ET,real} \cdot fc_T) \quad (18)$$

Onde:

$C_{EPT,real}$ é o consumo de energia primária total da edificação real, sem a parcela relativa à geração de energia renovável (kWh/ano);

$C_{EE,real}$ é o consumo total de energia elétrica da edificação real (kWh/ano);

$C_{ET,real}$ é o consumo total de energia térmica da edificação real (kWh/ano);

fc_E é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

fc_T é o fator de conversão de energia térmica em energia primária.

Já o consumo de energia primária da edificação na condição de referência $C_{EP,refD}$, conforme demonstrado na Equação 19, é função apenas do consumo estimado de energia elétrica na condição de referência, multiplicado fator de conversão fc_E .

$$C_{EP,refD} = (C_{EE,refD} \cdot fc_E) \quad (19)$$

Onde:

$C_{EP,refD}$ é o consumo de energia primária da edificação na condição de referência (kWh/ano);

$C_{EE,refD}$ é o consumo total de energia elétrica da edificação na condição de referência (kWh/ano);

fc_E é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária.

Para obter o consumo total de energia elétrica da edificação tanto para a sua condição real quanto para condição de referência, utilizadas respectivamente nas equações 17 e 18, é necessário realizar uma soma de fatores que representam os consumos de refrigeração, iluminação, aquecimento de água (quando aplicável) e de equipamentos, conforme demonstrado na Equação 20.

$$C_{EE,real\ ou\ refD} = C_{R,real\ ou\ refD} + C_{IL,real\ ou\ refD} + C_{AAE,real\ ou\ refD} + C_{EQ} \quad (20)$$

Onde:

C_{EE} é o consumo total de energia elétrica da edificação real ($C_{EE,real}$) ou condição de referência ($C_{EE,refD}$) (kWh/ano);

C_R é o consumo de refrigeração do sistema de condicionamento de ar da edificação real ($C_{R,real}$) ou condição de referência ($C_{R,refD}$) (kWh/ano);

C_{IL} é o consumo do sistema de iluminação da edificação real ($C_{IL,real}$) ou condição de referência ($C_{IL,refD}$) (kWh/ano);

C_{AAE} é o consumo do sistema de aquecimento de água em energia elétrica da edificação real ($C_{AAE,real}$) ou condição de referência ($C_{AAE,refD}$) (kWh/ano);

C_{EQ} é o consumo de equipamentos (kWh/ano).

f_{CE} é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária.

Os fatores da Equação 20 representam o consumo de energia pelos sistemas individuais já demonstrados nos tópicos anteriores, com exceção ao consumo de equipamentos da edificação, que pode ser obtido a partir da Equação 21. Esse consumo depende da potência instalada, horas de uso e dias de ocupação no ano, os dois últimos fatores disponibilizados na Tabela 6, já considerando valores de referência para uma edificação para uso típico de atividades educacionais.

$$C_{EQ} = (P_i \cdot h \cdot N_{ano})/1.000 \quad (21)$$

Onde:

C_{EQ} é o consumo de energia elétrica de equipamentos (kWh/ano);

P_i é a potência instalada do equipamento (W);

h são as horas de uso da edificação, conforme tipologia da Tabela 6;

N_{ano} são os dias de ocupação ao ano, conforme tipologia da Tabela 6.

O cálculo da potência instalada dos equipamentos da edificação pode ser obtido a partir da Equação 22, que é função da densidade de potência dos equipamentos, que para o caso em estudo trata-se de equipamentos de valores de referência para uma edificação para uso típico de atividades educacionais, que conforme tipologia da Tabela 6 equivale a 15 W/m².

$$P_i = DPE \times A_{total} \quad (22)$$

Onde:

P_i é a potência instalada do equipamento (W);

DPE é a densidade de potência de equipamentos (W/m²), conforme tipologia da Tabela 6;

A_{total} é a área total da edificação (m²).

Uma vez obtido percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real e condição de referência $RedC_{EP}$, a partir da Equação 16 é possível obter a classificação geral da edificação, cujo coeficiente que representa o intervalo entre as classes, pode ser obtido pela Equação 23, que é função do coeficiente de redução do consumo de energia primária.

$$i = \frac{(CRC_{EPD-A} \cdot 100)}{3} \quad (23)$$

Onde:

i é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes;

CRC_{EPD-A} é o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A.

O valor de CRC_{EPD-A} pode ser obtido a partir da Tabela 10, em que são disponibilizados os valores para edificações educacionais em função do grupo climático em que está localizada a edificação, assim como seu intervalo do fator de forma.

O fator de forma é obtido a partir da relação entre a área da envoltória e o volume total construído da edificação, conforme demonstrado na Equação 24.

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{tot}} \quad (24)$$

Onde:

FF é o fator de forma da edificação (m²/m³);

A_{env} é a área da envoltória (m^2);

V_{tot} é o volume total construído da edificação (m^3).

A lista completa com todas as 5.564 cidades do território brasileiro e seus respectivos grupos climáticos em disponibilizada em link específico de (PBEEDIFICA, 2021), cujos códigos encontram-se relacionados na Tabela 10.

Tabela 10: Edificações educacionais: coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A CRC_{EPD-A} , com base no fator de forma (FF) e grupo climático correspondente (PBEEDIFICA, 2021)

Grupo Climático	Coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a classificação A (CRC_{EPD-A})				
	$FF \leq 0,20$	$0,20 < FF \leq 0,30$	$0,30 < FF \leq 0,40$	$FF > 0,40$	
GC 1- A	0,33	0,34	0,31	0,30	
GC 1- B	0,31	0,32	0,30	0,29	
GC 2	0,33	0,34	0,31		
GC 3					
GC 4					
GC 5	0,31	0,32	0,29	0,27	
GC 6					
GC 7				0,28	
GC 8					
GC 9				0,29	
GC 10	0,32	0,34	0,31	0,30	
GC 11	0,31	0,32	0,30	0,28	
GC 12					
GC 13					
GC 14				0,29	
GC 15					0,27
GC 16					
GC 17					0,25
GC 18	0,27	0,28	0,26		
GC 19		0,29			
GC 20	0,28	0,30	0,28	0,27	
GC 21					
GC 22				0,27	
GC 23				0,26	
GC 24					

A classificação de eficiência energética geral da edificação pode ser verificada a partir da Tabela 11, utilizando o valor calculado de $RedC_{EP}$, bem como os limites determinados a partir do coeficiente i obtido pela Equação 23.

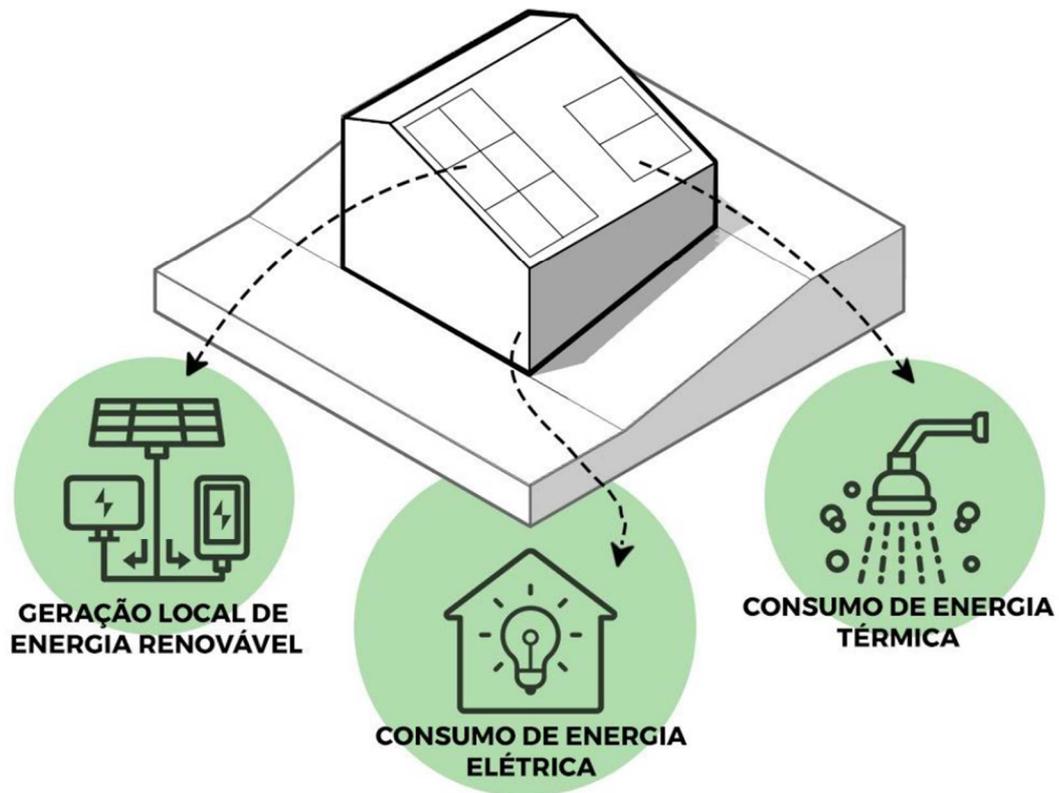
Tabela 11: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral

	A	B	C	D	E
Classificação de eficiência	$RedC_{EP} > 3i$	$3i \geq RedC_{EP} > 2i$	$2i \geq RedC_{EP} > i$	$i \geq RedC_{EP} \geq 0\%$	$RedC_{EP} < 0\%$

3.4.5 Avaliação da geração local de energia renovável

Por meio da avaliação dos sistemas de geração distribuída a partir de fontes de energia renováveis é possível classificar a edificação em NZEB ou EEP, sendo necessário obter os valores de geração local, consumo de energia elétrica e térmica (quando aplicável) da edificação, conforme mostrado na Figura 19.

Figura 19: Parâmetros para avaliação da edificação quanto à geração de energia local (PBEEDIFICA, 2021)



O fluxo do processo de avaliação deste tópico pode ser mais bem representado na Figura 20, em que são seguidos os passos já mostrados anteriormente até chegar à análise da classificação da edificação em NZEB ou EPP.

O potencial de geração a partir do uso de fontes locais de energia renovável pode ser obtido a partir da Equação 25, em que são relacionados os fatores energia gerada por fontes

renováveis e o consumo total de energia elétrica na condição real, que pode ser obtido a partir da Equação 20.

$$PG_E = \frac{G_{EE}}{C_{EE,real}} \quad (25)$$

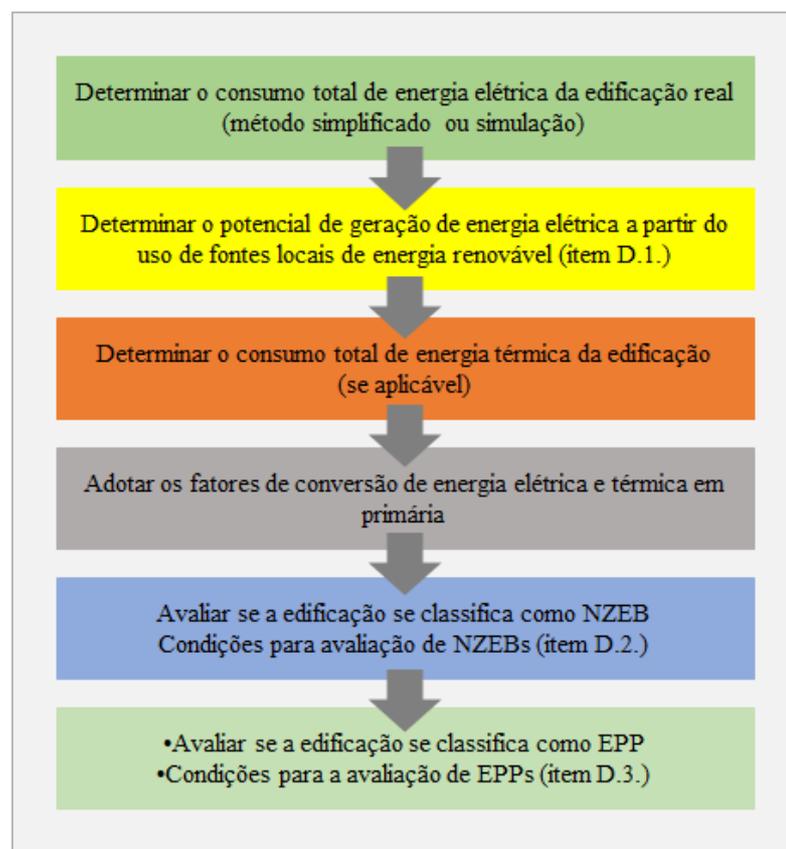
Onde:

PG_E é o potencial de geração de energia (%);

G_{EE} é a energia gerada por fontes locais de energia renovável (kWh/ano);

$C_{EE,real}$ é o consumo total de energia elétrica da edificação real (kWh/ano).

Figura 20: Fluxo de trabalho da avaliação da geração local de energia renovável (PBEEDIFICA, 2021)



3.4.5.1 Condições para a avaliação de NZEB

A condição preliminar para uma edificação ser classificada como NZEB, de acordo com a INI-C, é que seja comprovada a obtenção da classificação A, ou seja todas as condições dos sistemas individuais, quando aplicáveis, devem ser atendidas. A parcela de consumo de energia primária da edificação deve ser obtida sem considerar a parcela referente à geração local de energia renovável, ou seja, a partir da equação que determina $C_{EPT,real}$ (Equação 18).

Uma vez satisfeita a condição preliminar é necessário que a edificação possa ter 50% ou mais de sua demanda energética anual suprida por energia renovável gerada localmente, satisfazendo a relação demonstrada na Equação 26. Caso a edificação atenda as duas condições, ela pode ser classificada como NZEB.

$$(G_{EE} \cdot f_{c_E}) \geq 0,5 \cdot ((C_{EE,real} \cdot f_{c_E}) + (C_{ET,real} \cdot f_{c_T})) \quad (26)$$

Onde:

G_{EE} é a energia gerada por fontes locais de energia renovável (kWh/ano);

f_{c_E} é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

$C_{EE,real}$ é o consumo total de energia elétrica da edificação real (kWh/ano);

$C_{ET,real}$ é o consumo total de energia térmica da edificação real (kWh/ano);

f_{c_T} é o fator de conversão de energia térmica em energia primária.

3.4.5.2 Condições para a avaliação de EEP

De maneira semelhante à avaliação NZEB, a condição preliminar, de acordo com a INI-C, é que seja comprovada a obtenção da classificação A, ou seja todas as condições dos sistemas individuais, quando aplicáveis, devem ser atendidas. A parcela de consumo de energia primária da edificação deve ser obtida sem considerar a parcela referente à geração local de energia renovável, ou seja, a partir da equação que determina $C_{EPT,real}$ (Equação 18).

Uma vez satisfeita a condição preliminar é necessário que a edificação tenha geração local renovável superior à sua demanda energética anual, satisfazendo um balanço energético positivo, satisfazendo assim a relação demonstrada na Equação 27. Caso a edificação atenda as duas condições, ela pode ser classificada como EEP, podendo ser classificada como A+.

$$(G_{EE} \cdot fc_E) - ((C_{EE,real} \cdot fc_E) + (C_{ET,real} \cdot fc_T)) \geq 0 \quad (27)$$

Onde:

G_{EE} é a energia gerada por fontes locais de energia renovável (kWh/ano);

fc_E é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

$C_{EE,real}$ é o consumo total de energia elétrica da edificação real (kWh/ano);

$C_{ET,real}$ é o consumo total de energia térmica da edificação real (kWh/ano);

fc_T é o fator de conversão de energia térmica em energia primária.

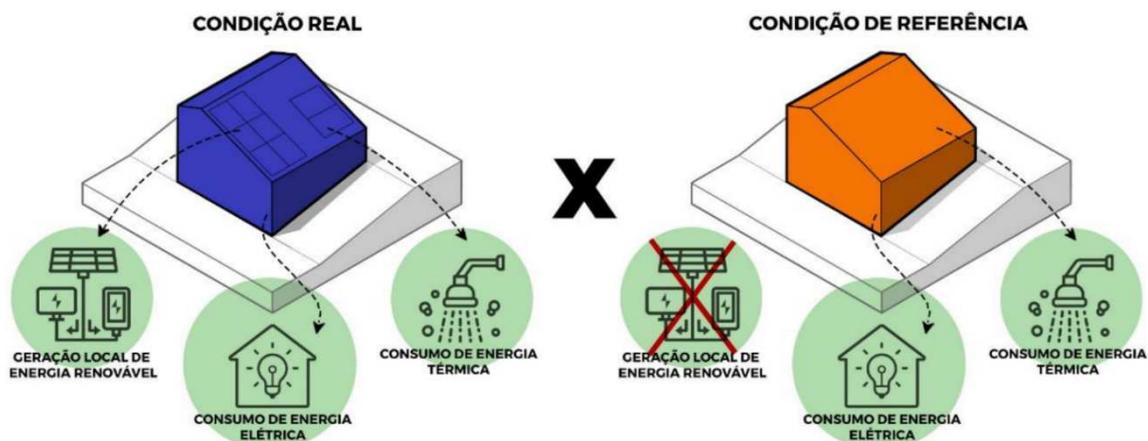
3.4.6 Avaliação das emissões de dióxido de carbono

A partir dos critérios disponibilizados na INI-C é possível determinar o percentual de redução ou acréscimo de emissões de dióxido de carbono (CO₂) a partir do comparativo do consumo de energia da edificação na condição real e de referência.

Assim como na avaliação NZEB, a avaliação das emissões de CO₂, segundo a instrução normativa tem caráter informativo, não alterando a classificação de eficiência energética da edificação.

As características da condição real consideram o consumo de energia elétrica, térmica (quando aplicável) e a geração local, diferentemente da condição de referência que considera o consumo a energia e térmica, desconsiderando a geração local de energia, conforme demonstrado no diagrama da Figura 21.

Figura 21: Parâmetros de entrada para o cálculo de emissões de dióxido de carbono (PBEEDIFICA, 2021)



O cálculo do percentual de acréscimo ou redução de emissões de CO₂ pode ser obtido a partir da Equação 28, que é função da relação entre as emissões totais na condição real e de referência.

$$P_{CO_2} = \left[\frac{E_{CO_2,real}}{E_{CO_2,ref}} - 1 \right] \cdot 100 \quad (28)$$

Onde:

P_{CO_2} é o percentual de redução ou acréscimo das emissões de dióxido de carbono (%);

$E_{CO_2,real}$ é a emissão total de dióxido de carbono da edificação real (tCO₂/ano);

$E_{CO_2,ref}$ é a emissão total de dióxido de carbono da edificação em sua condição de referência (tCO₂/ano).

Os sistemas individuais devem ser avaliados conforme demonstrado nos tópicos anteriores e de maneira resumida na Tabela 12, tanto para condição real quanto para condição de referência.

Tabela 12: Valores de referência dos sistemas individuais para o cálculo das emissões de dióxido de carbono (PBEEDIFICA, 2021)

Todas as tipologias		
Sistema individual	Condição real	Condição de referência
Condicionamento de ar	Condição real	Consumo elétrico da condição de referência
Iluminação artificial	Condição real	Consumo elétrico da condição de referência
Aquecimento de Água	Condição real	Consumo elétrico da condição de referência [1]
Equipamentos	Condição real	Consumo elétrico da condição de referência
Geração local de energia renovável	Condição real	Sem geração

[1] A condição de referência a ser adotada em sistemas com acumulação de água deve ser o boiler elétrico; para sistemas sem acumulação de água, a condição de referência deve ser o chuveiro elétrico.

O cálculo de emissão total de CO₂ na condição real pode ser obtido a partir de Equação 29 que é relação dos produtos entre consumos e respectivos fatores de emissão de dióxido de carbono, descontando a parcela referente ao produto da geração local com o fator de emissão para geração de energia.

$$E_{CO_2,real} = \frac{(C_{EE,real} \cdot fe_E) + (C_{ET,real} \cdot fe_T) - (G_{EE} \cdot fe_E)}{1000} \quad (29)$$

Onde:

$E_{CO_2,real}$ é a emissão total de dióxido de carbono da edificação real (tCO₂/ano);

$C_{EE,real}$ é o consumo total de energia elétrica da edificação real (kWh/ano);

$C_{ET,real}$ é o consumo total de energia térmica da edificação real (kWh/ano);

fe_E é o fator de emissão de dióxido de carbono na geração de energia elétrica (kg.CO₂/kWh);

fe_T é o fator de emissão de dióxido de carbono na queima de combustível (kg.CO₂/kWh);

G_{EE} é a energia gerada por fontes locais de energia renovável (kWh/ano).

Destaca-se que os fatores de emissão de dióxido de carbono por geração de energia possuem valores diferente quando se considera a localidade de análise, podendo estar ligada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) ou para localidades ainda fazem parte dos Sistemas Isolados (SIs) que são as regiões não interligadas ao SIN. Os valores dos fatores de emissão estão disponíveis na Tabela 13.

Tabela 13: Fatores de emissão de dióxido de carbono por geração de eletricidade (IEE-SP, [s.d.]).

Geração de eletricidade	Fatores de Emissão de Dióxido de Carbono por Geração de Eletricidade	Unidade
SIN – Sistema Interligado Nacional	0,090	kg.CO ₂ /kWh
SIs - Sistemas Isolados	0,753	kg.CO ₂ /kWh

O cálculo de emissão total de CO₂ na condição de referência pode ser obtido a partir de Equação 30 que é relação dos produtos entre consumos e respectivos fatores de emissão de dióxido de carbono.

$$E_{CO_2,ref} = \frac{(C_{EE,ref} \cdot fe_E) + (C_{ET,ref} \cdot fe_T)}{1000} \quad (30)$$

Onde:

$E_{CO_2,ref}$ é a emissão total de dióxido de carbono da edificação em sua condição de referência (tCO₂/ano);

$C_{EE,ref}$ é o consumo total de energia elétrica da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

$C_{ET,ref}$ é o consumo total de energia térmica da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

fe_E é o fator de emissão de dióxido de carbono na geração de energia elétrica (kg.CO₂/kWh);

fe_T é o fator de emissão de dióxido de carbono na queima de combustível (kg.CO₂/kWh);

G_{EE} é a energia gerada por fontes locais de energia renovável (kWh/ano).

A partir da metodologia apresentada, é possível concluir a fundamental importância da base de dados de consumo do SISGEE e dos dados de geração do Sistema de Gerenciamento do SH do CEAMAZON para execução da primeira etapa, que corresponde à avaliação do BE da edificação nos cenários pré, durante e pós pandemia. E a imprescindível a compreensão dos métodos, parâmetros e expressões disponíveis na INI-C para utilização na segunda etapa deste trabalho, a partir das características de edificações NZEB, bem como a obtenção do consumo total da edificação para complementação da análise em quantificação de emissões de CO₂.

4 RESULTADOS

A partir da coleta, tratamento dos dados e efetivas estimativas de consumo, serão apresentados 4 cenários na edificação analisada, expondo diferenças de desempenho em meio às conjunturas decorrentes do cenário de pandemia.

São observados os reflexos das melhorias de infraestrutura de geração distribuída implantadas na edificação e demais cargas adicionadas ao sistema a partir do projeto SIMA, a exemplo a estação de abastecimento de veículos elétricos, parâmetros essenciais para projeção do comportamento do sistema no cenário pós pandemia.

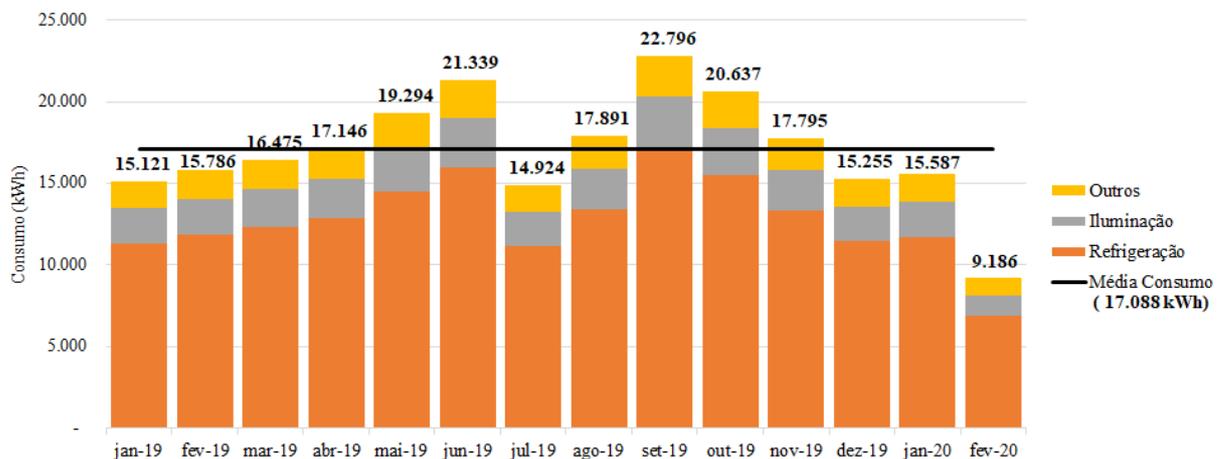
Para comprovação da fidelidade da projeção, foram coletados dados da memória de massa dos sistemas interligados aos supervisórios, demonstrados para os primeiros meses de 2022 e realizada a interpretação gráfica com análise crítica.

Ao final, também é apresentada uma breve comparação com uma análise resumida da nova INI-C relacionada à metodologia de avaliação NZEB e Emissões de CO₂ da edificação.

4.1 Cenário 1 – Sem Pandemia / Sem GD (janeiro de 2019 – fevereiro de 2020)

Nesse cenário, foi considerado o período em que a pandemia de Covid-19 não tinha afetado o andamento das atividades desempenhadas na UFPA. Dessa forma, foi considerada a cronologia de consumo que se inicia em janeiro de 2019 até fevereiro de 2020, uma vez que logo ao final do feriado de carnaval e a partir de março de 2020, as atividades em todos os campi foram suspensas (UFPA, 2020). O consumo pode ser observado na Figura 22, cuja média das amostras obtidas foi de 17.087,97 kWh.

Figura 22: Consumo do CEAMAZON, período sem pandemia e sem GD (elaborado pelo autor).

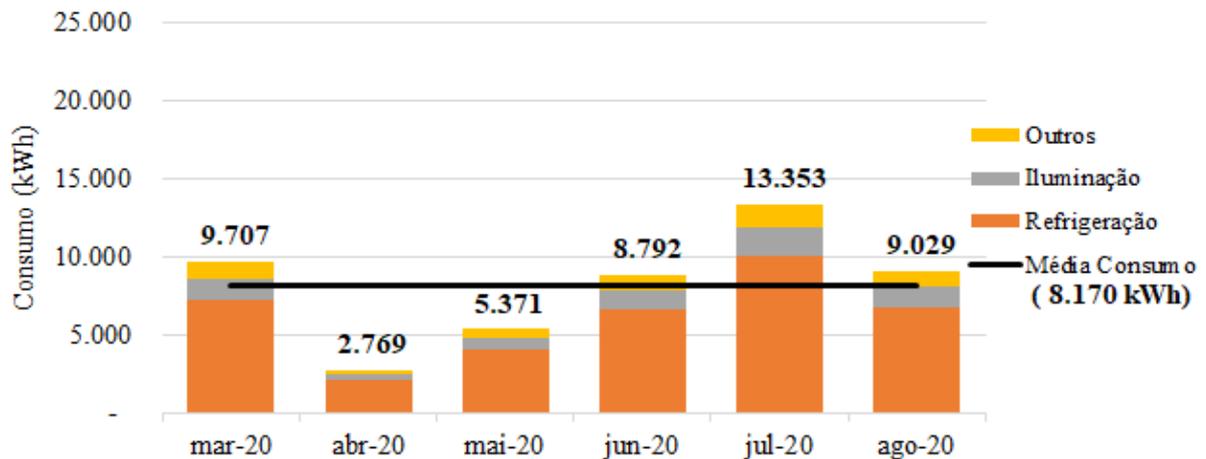


Vale ressaltar que nesse período o laboratório ainda não dispunha de sistema de GD para compensação do consumo, logo o sistema do CEAMAZON possuía um BE negativo.

4.2 Cenário 2 – Com Pandemia / Sem GD (março de 2020 – agosto de 2020)

No segundo cenário analisado, as atividades na UFPA já tinham sido paralisadas em decorrência do avanço da pandemia de Covid-19. Dessa forma, foi considerada a cronologia de consumo que se inicia em março de 2020 até agosto de 2020. Os dados dos meses posteriores até junho de 2021 não foram armazenados em função do período de manutenção no sistema de aquisição de dados.

Figura 23: Consumo do CEAMAZON, período durante pandemia sem GD (elaborado pelo autor).



É importante destacar que pelo fato de o laboratório ainda não dispor de sistema GD e que em relação ao cenário anterior verificou-se uma redução da média consumo na ordem de 52,19%, observa-se que mesmo em baixa ocupação da edificação há uma parcela de consumo fixo que pode ser observado na Figura 23, cuja média obtida das amostras foi de 8.170,11 kWh.

Quanto ao BE, assim como o cenário 1, também era negativo pelo fato de o laboratório ainda não dispor de sistema de GD para compensação do consumo.

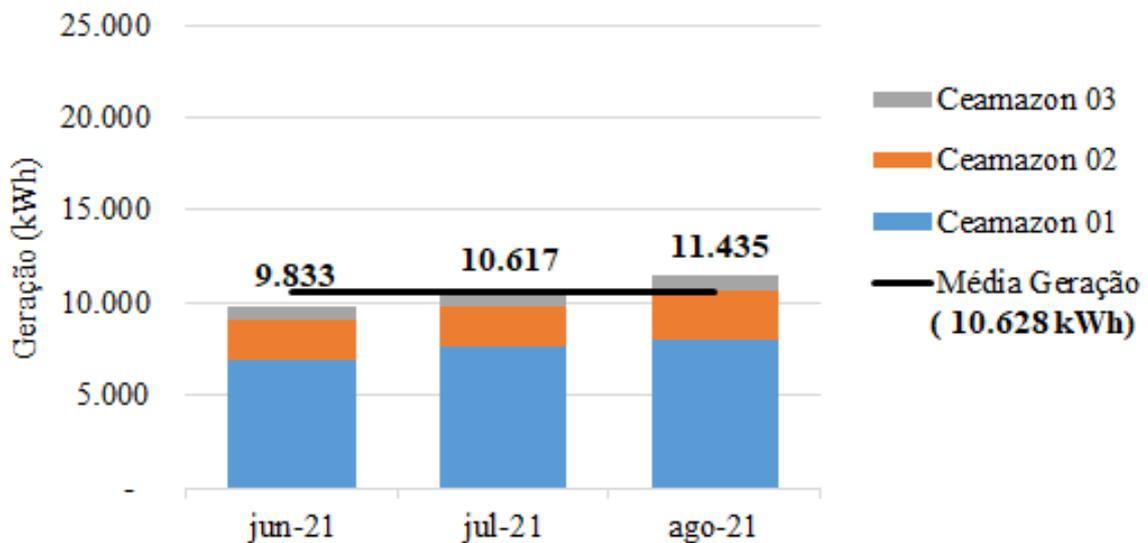
4.3 Cenário 3 – Com Pandemia / Com GD (junho de 2021 – agosto de 2021)

No terceiro cenário analisado, foi considerado o período em que as atividades na UFPA continuavam paralisadas em decorrência da pandemia de Covid-19. Dessa forma, de acordo

com a disponibilidade de dados, foi considerada a cronologia de consumo de junho 2021 até agosto de 2021, período que a edificação já contava com sistemas de GD implantados (ver Figura 24).

Outra importante mudança foi a inclusão do sistema abastecimento de veículos elétricos em fase de testes com dois ônibus no período analisado, cujo consumo nos horários de abastecimento influenciam diretamente no fluxo de energia do sistema como um todo, cujo consumo pode ser estimado uma vez que o mesmo ainda não dispõe de medição dedicada e integrada ao SISGEE.

Figura 24: Geração do CEAMAZON, período durante Pandemia, com GD (elaborado pelo autor).



4.3.1 Estimativa de consumo do ônibus elétrico

Como já mencionado na metodologia deste trabalho, considerando que a infraestrutura de estações de abastecimento de veículos foi instalada durante a elaboração deste trabalho, bem como a contemporaneidade do tema relacionado à mobilidade elétrica no campus, optou-se por avaliar a sua influência no balanço energético da edificação. Destaca-se que a inclusão dessa análise dentro da etapa de avaliação do balanço energético em cenários não traz prejuízo para a avaliação final deste trabalho e que pode ser complementada em trabalhos futuros.

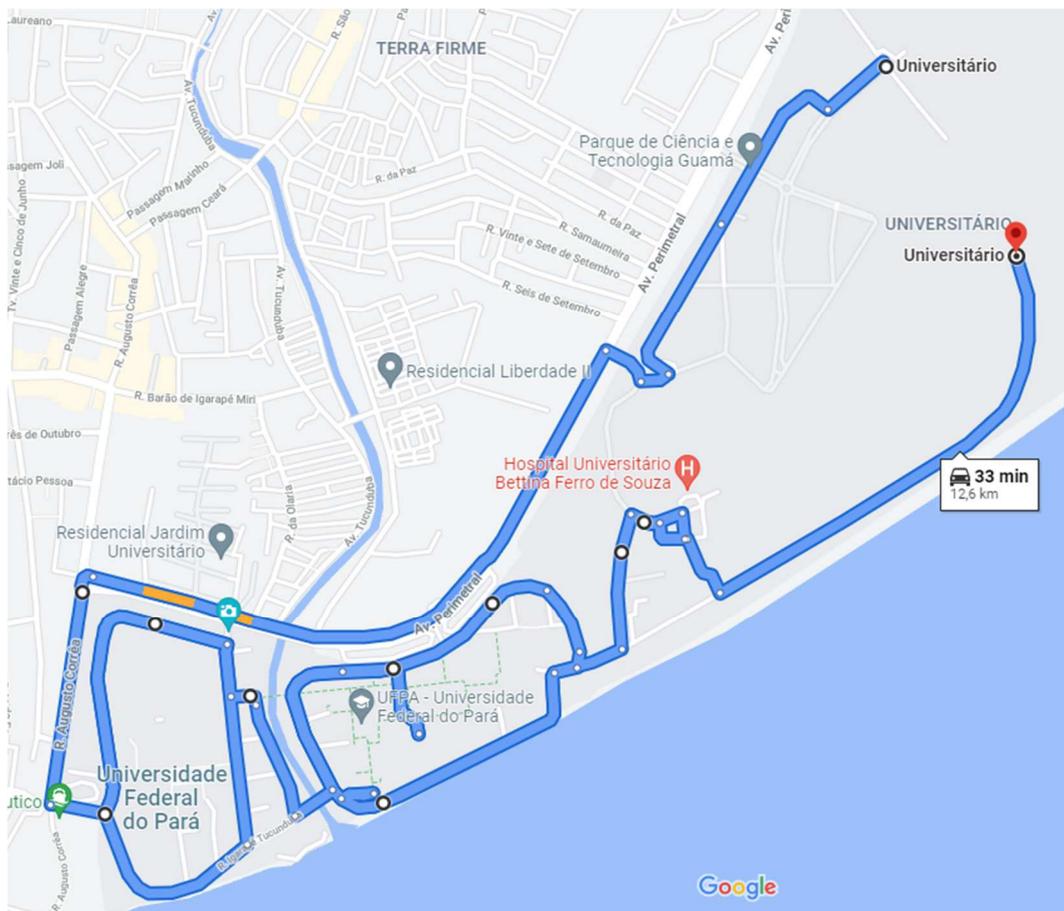
O CEAMAZON tem desenvolvido o Sistema Inteligente Multimodal da Amazônia (SIMA), que conta com dois tipos de modal (barco e ônibus elétricos), e visa, entre outras ações, à promoção de eficiência energética no Campus da UFPA de Belém. Os modais do SIMA

também foram adquiridos através do P&D de mobilidade elétrica, que possibilitou a implantação da infraestrutura analisada nesse cenário, onde destaca-se o sistema de abastecimento de ônibus elétricos, com duas estações de abastecimento de veículos elétricos inseridas na MR do CEAMAZON. É importante esclarecer que até o desenvolvimento deste trabalho as estações de abastecimento se encontravam em fase de avaliações e testes, portanto, foi necessário estimar um consumo médio de energia dos ônibus.

A autonomia do veículo é de aproximadamente 250 km, podendo variar de acordo com as condições de uso (BYD, 2021), que no caso do percurso dentro do campus, com topografia regular, tráfego leve e velocidade controlada, torna-se favorável ao atingimento de uma autonomia próxima da máxima dimensionada.

Considerando que a capacidade da bateria equivale a 324 kWh, estima-se a necessidade de dois abastecimentos semanais, podendo atingir um consumo mensal de 2.592 kWh dentro da rota de 12,6 km (ver Figura 25). O consumo mensal pode alcançar o dobro, caso os dois ônibus sejam abastecidos exclusivamente na estação de abastecimento da edificação em análise.

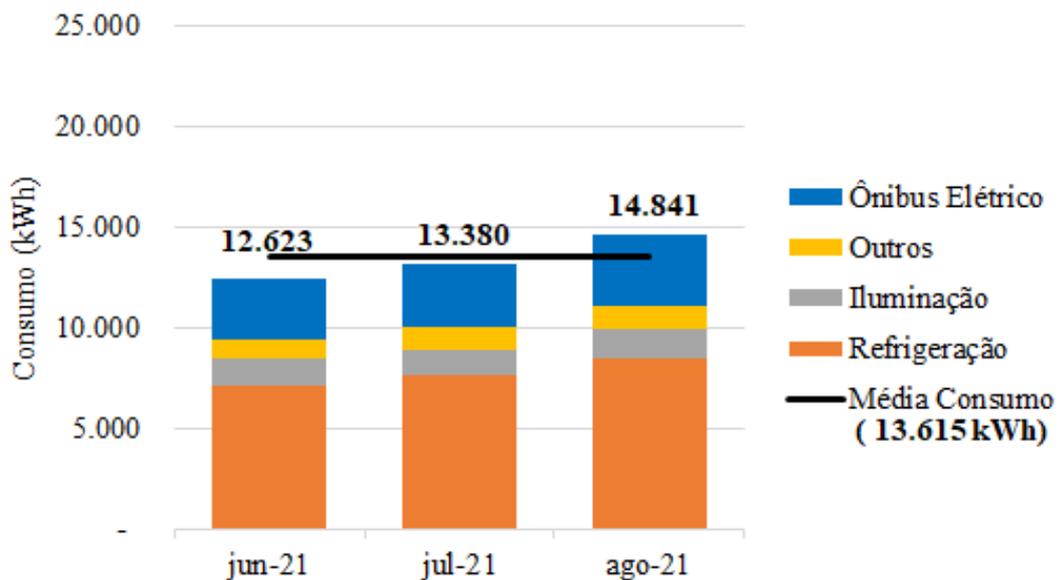
Figura 25: Estimativa de rota do ônibus elétrico (Fonte: Google Maps).



Dessa forma, a nova distribuição de cargas pode ser considerada a partir da Figura 26, estimando os consumos de refrigeração a partir das cargas de ar-condicionado, iluminação e outras cargas somadas ao adicional de consumo do ônibus elétrico, equivalente em valores proporcionais à 57%, 10%, 33%, respectivamente.

Ressalta-se o baixo consumo no cenário em análise, 20,33% inferior ao registrado no Cenário 1, observado principalmente na refrigeração a partir das cargas de ar-condicionado e iluminação. Observa-se que na média dos 3 meses, aproximadamente 78% do consumo registrado na MR foi compensado pelo SH. Dessa maneira, a edificação até o momento não estaria em condições de anular totalmente seu balanço energético, porém já supera a ordem de 50% de compensação, parâmetro este que está entre os requisitos de classificação NZEB de uma edificação, conforme a INI-C.

Figura 26: Consumo do CEAMAZON, período durante Pandemia, com GD (elaborado pelo autor).



4.4 Cenário 4 – Pós Pandemia / Com GD

4.4.1 Projeção de cenário

Como até a elaboração deste cenário as atividades presenciais do campus ainda não tinham retornado totalmente, não seria possível observar um nível de consumo semelhante ao Cenário 1. No entanto, foi possível estimá-lo como uma projeção, considerando as novas cargas inseridas na MR ainda no ano de 2020, em razão da implementação do sistema de abastecimento de ônibus elétrico.

Partindo do pressuposto que a adição de carga relacionada ao abastecimento de um ônibus elétrico resultaria em variações no perfil de consumo, mais precisamente nos períodos de recesso estudantil (janeiro, julho e dezembro), um eventual cenário sem pandemia poderia ser representado pelo Cenário 1 adicionando as referidas considerações, conforme pode ser observado na Figura 27.

Figura 27: Estimativa de Consumo anual do CEAMAZON, período pós pandemia (elaborado pelo autor)

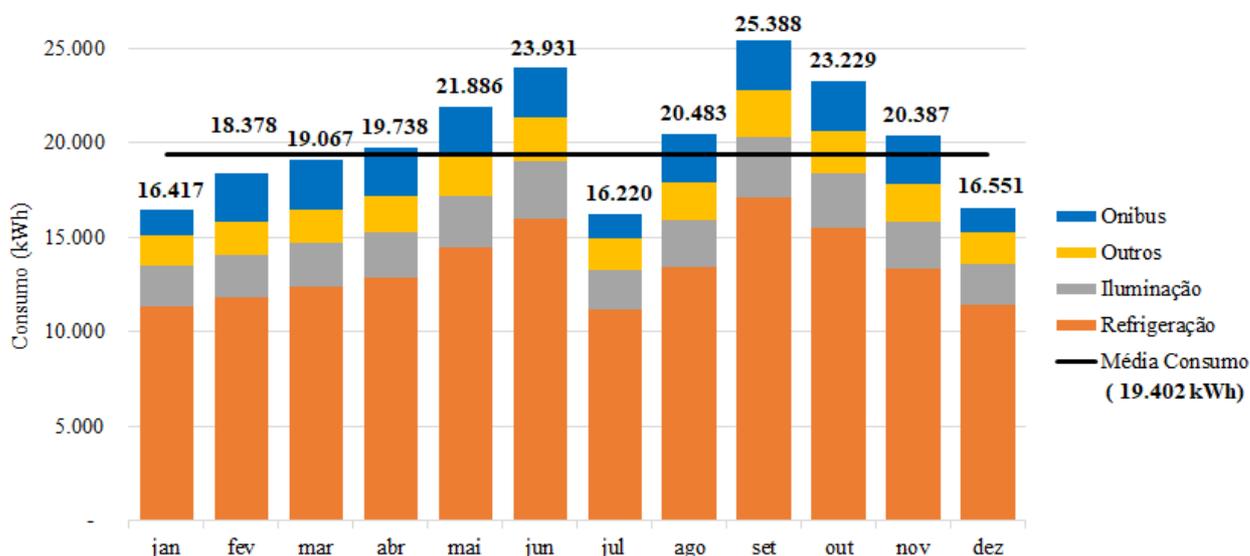
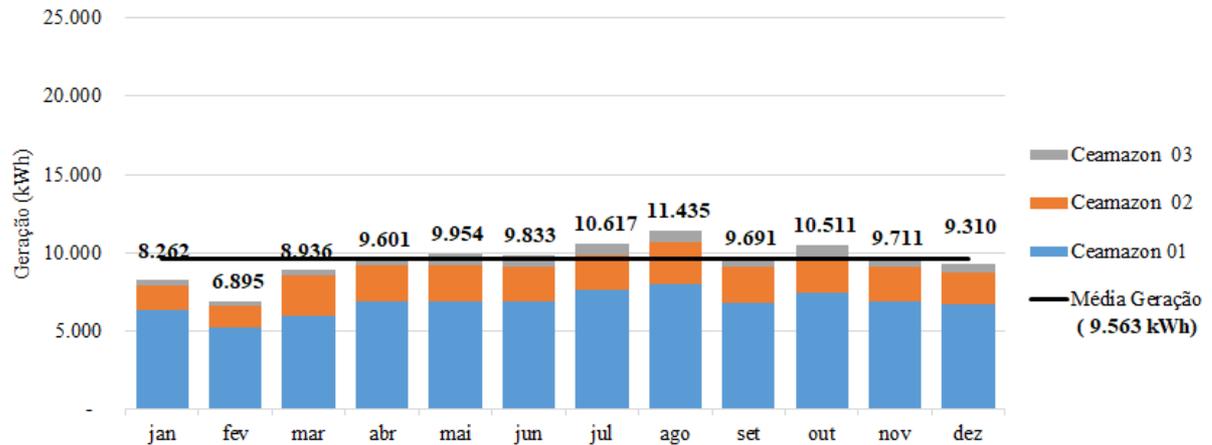


Figura 28: Estimativa de Geração anual do CEAMAZON, período pós pandemia (elaborado pelo autor).



Os dados de GD foram obtidos a partir do histórico de geração referentes a 2021, primeiro ano de operação do sistema FV. Dessa forma espera-se regularidade de incidência anual de radiação solar, razão característica da região norte, podendo dessa forma projetar o referido cenário a princípio sem ressalvas.

Observa-se ainda que a partir dos dados de geração da Figura 28, que a previsão de compensação ainda é de aproximadamente 50% da carga total, reforçando o conceito NZEB, que será demonstrado nos próximos tópicos.

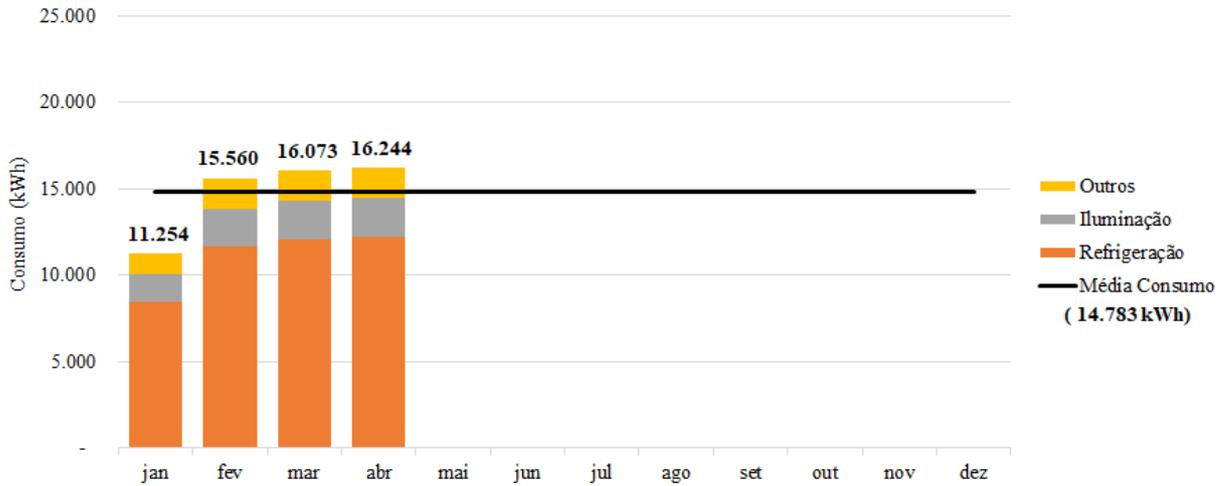
Os dados projetados descrevem um cenário otimista para a ocupação predial e consequentemente pessimista para o balanço energético. Ou seja, caso a ocupação dos prédios em um eventual cenário pós pandemia seja inferior ao registrado no cenário 1, há a possibilidade de um incremento na compensação acima de 50%, semelhante ao observado no cenário 3.

4.4.2 Confirmação da Projeção (janeiro de 2022 – maio de 2022)

Passados os quatro primeiros meses de 2022, período em que se iniciou o retorno de maneira gradual as atividades presenciais no campus, foram realizadas coletas de dados no intuito de confirmar as projeções mostradas nas Figuras 27 e 28, a partir de dados reais.

A partir das Figuras 29 e 30 é possível observar média de consumo para um início de cenário pós pandemia e consequentemente observar o comportamento do balanço energético do sistema.

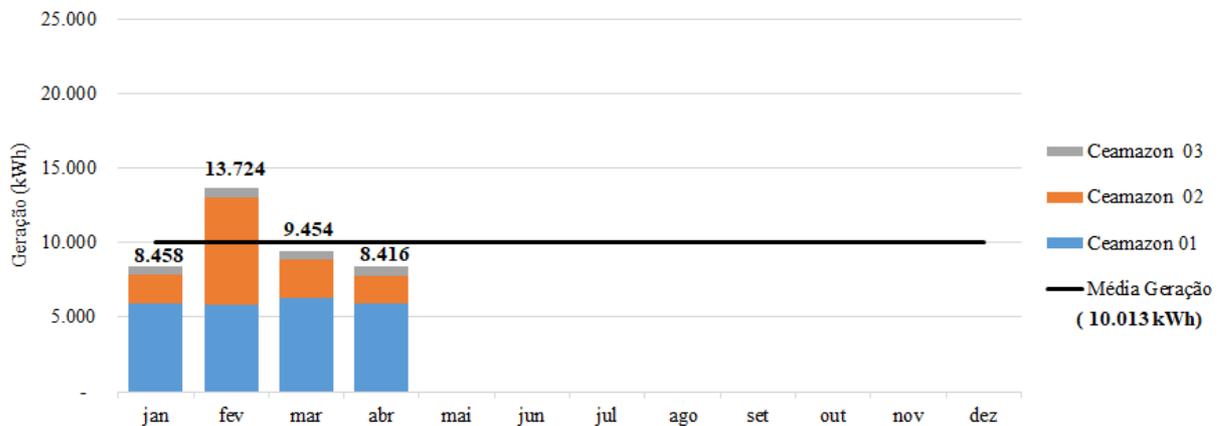
Figura 29: Consumo anual do CEAMAZON, registrado até abril de 2022 (elaborado pelo autor).



Pela Figura 29, observa-se que não constam os dados de medição direta de consumo das estações de abastecimento dos ônibus. Uma vez que integração dos dados ao sistema de gerenciamento ainda passa por ajustes de infraestrutura de comunicação.

Observando diferença entre a média consumo de 2022 e a média de consumo projetada na Figura 27, obtém-se o valor de 4.619 kWh, o que corresponderia ao valor de consumo estimado de dois ônibus detalhado no cenário 3. Logo a estimativa de consumo pós pandemia, a partir dos dados coletados, pode ser considerada válida quando comparada aos valores reais e que a partir desses dados é possível constatar que a ocupação da edificação de fato tem retornado aos níveis análogos ao cenário 1, ou seja, níveis de consumo pré pandemia.

Figura 30: Geração anual do CEAMAZON, registrado até abril de 2022 (elaborado pelo autor).



Com relação aos dados mostrados na Figura 30, apesar da variação excepcional registrada no mês de fevereiro, na média ainda é possível observar uma maior semelhança aos valores estimados na Figura 28, confirmando uma expectativa de regularidade na incidência de radiação solar na região.

De maneira geral, os valores reais referentes ao ano de 2022 revelam uma perspectiva positiva para a edificação. Uma vez que a demonstração de compensação de geração a partir de 50% visivelmente a caracterizaria como uma NZEB. Porém devido os valores de geração ainda não superarem sua demanda anual registrada, essa edificação ainda não teria características minimamente necessárias de uma EPP.

Tecnicamente, a edificação poderia de fato ser submetida a avaliação dos parâmetros exigidos pela INI-C visando a classificação NZEB com perspectivas positivas, desde que satisfeitos os critérios já detalhados na metodologia, em que alguns pontos relevantes à edificação em estudo serão demonstrados a seguir.

4.5 Avaliação da Edificação segundo a INI-C

A avaliação do uso de sistemas de geração de energia local por meio de fontes de energia renováveis em edificações comerciais, de serviços e públicas, bem como a avaliação de NZEBs e Edificações de Energia Positiva (EEP) são realizadas conforme estabelecido no anexo D da INI-C.

A condição preliminar para uma edificação ser avaliada como NZEB ou EEP está na obtenção da classificação A de eficiência energética, sem considerar o desconto da parcela referente à geração local de energia renovável, ou seja, baseando-se na classificação a partir do consumo de energia primária total da edificação real (Inmetro, 2021).

Cinco classes de eficiência energética estão representadas na INI-C. A classe A é a mais elevada, portanto, não possui limite superior. Há ainda a classe B, abaixo do A, e a classificação C, abaixo da B e acima da classe D, esta última considerada referência pela INI-C, na qual os resultados das edificações reais são comparados e, então, classificados conforme Figura 31 (Inmetro, 2021).

Figura 31: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral (Inmetro, 2021).

	A	B	C	D	E
Classificação de Eficiência	$\text{RedC}_{EP} > 3i$	$3i \geq \text{RedC}_{EP} > 2i$	$2i \geq \text{RedC}_{EP} > i$	$i \geq \text{RedC}_{EP} \geq 0$	$\text{RedC}_{EP} < 0$

Ressalta-se que para este exemplo só foram determinados os consumos dos sistemas individuais, de iluminação e de equipamentos a título de exemplificação da aplicação do método. Apesar de não ter sido realizada, a análise de eficiência energética da envoltória é imprescindível tanto para o cálculo do consumo de refrigeração a partir das cargas de ar-condicionado pela carga térmica anual, quanto para a classificação final da edificação.

Ao final deste trabalho não foram concluídas as avaliações de envoltória e refrigeração a partir das cargas de ar-condicionado, tendo sido estimado um limite de consumo a partir das equações algébricas que regem a INI-C, no intuito de auxiliar o planejamento e futuras análises, bem como o redimensionamento de equipamentos existentes.

Para o caso, foi utilizada a classificação geral da edificação, a partir do procedimento de determinação dos consumos do sistema de iluminação pelo método das atividades. Já o consumo de equipamentos foi calculado a partir da Densidade de Potência de Equipamentos (DPE), considerando valores de referência para edificações educacionais. Por fim, os valores de geração local de energia renovável foram obtidos a partir de dados dos sistemas de gerenciamento de dados.

A seguir serão mostrados os procedimentos de avaliação utilizados neste trabalho, no intuito de obter as estimativas de consumos de ar-condicionado, iluminação e equipamentos para obter a classificação geral da edificação.

4.5.1 Consumo de ar-condicionado

Apesar da análise demonstrada no início do trabalho ter utilizado o levantamento de cargas relacionadas à refrigeração, no padrão INI-C o cálculo do consumo de refrigeração da edificação, tanto em sua condição real como de referência, é feito a partir do valor da carga térmica total anual da edificação. Este parâmetro é diretamente dependente do cálculo de envoltória, área de estudos intimamente ligada ao ramo da arquitetura, não sendo o objetivo principal deste trabalho, mas que poderá ser objeto de futuros estudos.

Diferentemente da condição real, conforme Equação 6, para a condição de referência considera-se o coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar para refrigeração CEE_R igual a 2,6 (PBEEDIFICA 2021b).

Assim, considerando que o sistema não possui equipamentos de renovação de ar, a obtenção do consumo de refrigeração na condição de referência, é obtida conforme Equação 7:

$$C_{R,real} = CgTT_{real}/CEE_R \quad (31)$$

$$C_{R,ref} = CgTT_{ref}/2,6 \quad (32)$$

Onde:

$C_{R,real}$ é o consumo de refrigeração da edificação real (kWh/ano);

$C_{R,refD}$ é o consumo de refrigeração da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

$CgTT_{real}$ é a carga térmica total anual (kWh/ano) da edificação real;

$CgTT_{refD}$ é a carga térmica total anual da envoltória da edificação na sua condição de referência (kWh/ano);

CEE_R é coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar para refrigeração.

Os limites estimados para consumo de refrigeração a partir das cargas de ar-condicionado serão obtidos posteriormente a partir de expressões algébricas disponíveis na INI-C, uma vez que não se dispunha de todos os parâmetros para uma classificação completa da edificação.

4.5.2 Consumo de iluminação

Considerando a edificação possua projeto de iluminação e que as áreas destacadas, até o momento do referido levantamento, não possuíam controle com sensor de ocupação com desligamento automático. Dessa forma, o consumo de energia elétrica do sistema de iluminação da edificação real pelo método das atividades é mostrado na Tabela 14, com os respectivos valores encontrados por área de atividade:

Tabela 14: Levantamento de área e iluminação real pelo método das atividades

Ambientes / Atividades	Área Total (m ²)	Potência Instalada em cada Função (W)
Hall de Entrada	285,94	1.020,00
Banheiros	64,56	472,00
Escritório	153,66	1.756,00
Sala de aula	103,75	1.364,00
Circulação	227,34	602,00
Oficina	12,51	184,00
Laboratório - Pesquisa	450,07	4.612,00
Deposito	8,68	18,00
Cozinha	29,15	192,00
Biblioteca - leitura	34,98	432,00
Biblioteca - arquivamento	70,19	608,00
Sala de reuniões	16,72	276,00
Auditório	163,41	641,00
Total	1.620,96	12.177,00
DPI, real (W/m²)		7,51

$$PI_T = 12.177,00 \text{ W}$$

$$h = 8 \text{ horas}$$

$$N_{ano} = 200 \text{ dias}$$

$$C_{IL,real} = PI_T \cdot (h \cdot N_{ano})$$

$$C_{IL,real} = 19.483,20 \text{ kWh/ano}$$

Onde:

PI_T é a potência de iluminação total instalada (kW);

h são as horas de uso da edificação por dia;

N_{ano} é o número de dias de ocupação ao ano.

C_{IL} é o consumo do sistema de iluminação da edificação real ($C_{IL,real}$) ou na condição de referência ($C_{IL,refD}$) (kWh/ano);

Para a condição de referência foi realizada a avaliação conforme as respectivas atividades disponibilizadas na Tabela 8. Dessa forma os dados de potência limite, para as classificações A e D, encontram-se respectivamente nas Tabelas 15 e 16:

Tabela 15: Levantamento de área e potência limite para classificação A pelo método das atividades

Funções Encontradas	Área Total (m²)	DPI limite (W/m²) - (DPI_{LA})	Potência limite (W) - (PI_{LA})
Hall de entrada	285,94	21,85	6.247,79
Banheiros	64,56	9,15	590,72
Escritório	153,66	10,00	1.536,60
Laboratório - Sala de Aula	103,75	12,90	1.338,38
Circulação	227,34	7,10	1.614,11
Oficina	12,51	12,25	153,25
Laboratório - Pesquisa	450,07	15,60	7.021,09
Depósitos	8,68	4,95	42,97
Cozinhas	29,15	11,40	332,31
Biblioteca - Leitura	34,98	8,85	309,57
Biblioteca - Arquivamento	70,19	6,00	421,14
Sala de reuniões	16,72	11,50	192,28
Auditório	163,41	11,50	1.879,22
Total (W)			21.679,43

Tabela 16: Levantamento de área e potência limite para classificação D pelo método das atividades

Funções Encontradas	Área Total (m²)	DPI limite (W/m²) - (DPI_{LD})	Potência limite (W) - (PI_{LD})
Hall de entrada	285,94	24,47	6.996,95
Banheiros	64,56	13,73	886,41
Escritório	153,66	19,04	2.925,69
Laboratório - Sala de Aula	103,75	16,32	1.693,20
Circulação	227,34	11,36	2.582,58
Oficina	12,51	27,36	342,27
Laboratório - Pesquisa	450,07	31,20	14.042,18
Depósitos	8,68	8,00	69,44
Cozinhas	29,15	17,12	499,05
Biblioteca - Leitura	34,98	16,00	559,68
Biblioteca - Arquivamento	70,19	12,48	875,97
Sala de reuniões	16,72	19,04	318,35
Auditório	163,41	13,60	2.222,38
Total (W)			34.014,15

Considerando os dados para a condição de referência classificação D, temos os seguintes dados:

$$PI_{LD} = 34.014,15 \text{ W}$$

$$h = 8 \text{ horas}$$

$$N_{ano} = 200 \text{ dias}$$

$$C_{IL,refD} = (PI_{LD} \cdot h \cdot N_{ano})/1000$$

$$C_{IL,refD} = 54.422,64 \text{ kWh/ano}$$

Onde:

PI_T é a potência de iluminação total instalada (kW);

PI_L é a potência de iluminação limite, para a classificação D ou A (W);

h são as horas de uso da edificação por dia;

N_{ano} é o número de dias de ocupação ao ano.

C_{IL} é o consumo do sistema de iluminação da edificação real ($C_{IL,real}$) ou na condição de referência ($C_{IL,refD}$) (kWh/ano);

4.5.3 Consumo de equipamentos

Assim como os aparelhos de ar-condicionado, apesar do levantamento de cargas in loco, a determinação do consumo de equipamentos na edificação é obtida a partir da densidade de potência de equipamentos, considerando valores de referência para edificações educacionais, a DPE de referência é 15 W/m². Considerando a área útil da edificação, levanta-se a potência instalada total de equipamentos:

$$DPE = 15 \text{ W/m}^2$$

$$A_{total} = 1620,96 \text{ m}^2$$

$$P_i = DPE \times A_{total}$$

$$P_i = 24.314,40 \text{ W}$$

Considerando ainda as características de ocupação típicas de edificações educacionais, tem-se:

$$P_i = 24.314,40 \text{ W}$$

$$h = 8 \text{ horas}$$

$$N_{ano} = 200$$

$$C_{EQ} = P_i \cdot (h \cdot N_{ano})$$

$$C_{EQ} = 38.903,04 \text{ kWh/ano}$$

Onde:

DPE é a densidade de potência de equipamentos (W/m^2);

A_{total} é a área útil total de todos os ambientes (m^2);

P_i é a potência instalada do equipamento (W);

C_{EQ} é o consumo de energia elétrica de equipamentos (kWh/ano);

4.5.4 Classificação da eficiência energética geral da edificação

Considera-se o consumo total de energia elétrica da edificação real e de referência o somatório do consumo de refrigeração a partir das cargas de ar-condicionado, de iluminação, do sistema de aquecimento de água por energia elétrica e o consumo de equipamentos.

Considerando que a edificação não possui consumo de energia térmica, para aquecimento de água, termo que representa o consumo do referido sistema não entra no levantamento, já o consumo de refrigeração, será função da Equação 20, mostrada no capítulo 3, obtemos as equações 31 e 32:

$$C_{EE,real} = C_{R,real} + C_{IL,real} + C_{EQ} \quad (20a)$$

$$C_{EE,real} = C_{R,real} + 58.386,24 \text{ kWh/ano} \quad (33)$$

$$C_{EE,refD} = C_{R,refD} + C_{IL,refD} + C_{EQ} \quad (20b)$$

$$C_{EE,refD} = C_{R,refD} + 93.325,68 \text{ kWh/ano} \quad (34)$$

Onde:

C_{EE} - é o consumo total de energia elétrica da edificação real ($C_{EE,real}$) ou condição de referência ($C_{EE,refD}$) (kWh/ano);

Pela capacidade instalada do sistema de geração híbrida existente e demonstrada por (Tabora, J. M. et al., 2021), conforme gráfico da Figura 28, pelos dados registrados e coletados ao longo do ano de 2021, e considerando de regularidade de intensidade de radiação solar na região, estimamos uma expectativa anual de geração renovável $G_{EE} = 114.756 \text{ kWh/ano}$ para a edificação, demonstrados na Tabela 17.

Mês/ano	Inversor Ceamazon 01 (kWh)	Inversor Ceamazon 02 (kWh)	Inversor Ceamazon 03 (kWh)	Total (kWh)
jan-21	6.285	1.625	352	8.262
fev-21	5.246	1.387	262	6.895
mar-21	5.988	2.547	402	8.936
abr-21	6.920	2.233	449	9.601
mai-21	6.924	2.307	722	9.954
jun-21	6.868	2.251	714	9.833
jul-21	7.598	2.258	761	10.617
ago-21	7.994	2.628	813	11.435
set-21	6.820	2.301	570	9.691
out-21	7.394	2.389	728	10.511
nov-21	6.846	2.218	646	9.711
dez-21	6.714	2.007	589	9.310
Total (kWh/ano)_				114.756

Tabela 17: Geração de energia anual da miniusina CEAMAZON

Dessa forma, a partir das Equações 17 e 18 já mostradas no capítulo 3, podemos calcular o consumo de energia primária da edificação na condição real e de referência, em função dos consumos de refrigeração, considerando que a edificação não possui consumo de energia térmica entre suas cargas e utilizando os fatores de conversão, como segue:

$$C_{EP,real} = (C_{EE,real} \cdot fc_E) - (G_{EE} \cdot fc_E) \quad (35)$$

$$C_{EP,real} = (C_{R,real} - 56.369,76) \cdot 1,6 \quad (36)$$

$$C_{EP,refD} = (C_{EE,refD} \cdot fC_E) \quad (37)$$

$$C_{EP,refD} = (C_{R,refD} + 93.325,68) \cdot 1,6 \quad (38)$$

Onde,

$C_{EP,real}$ é o consumo de energia primária da edificação real (kWh/ano);

$C_{EP,refD}$ é o consumo de energia primária da edificação na condição de referência (kWh/ano);

fC_E é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

G_{EE} é a energia gerada por fontes locais de energia renovável (kWh/ano);

A classificação da eficiência energética geral da edificação é baseada no percentual de redução de consumo de energia primária, comparando a situação real com a condição de referência, dessa forma utilizaremos também a Equação 16, já mostrada no capítulo 3, em função consumos de refrigeração, conforme segue:

$$RedC_{EP} = \left((C_{EP,refD} - C_{EP,real}) / C_{EP,refD} \right) \cdot 100 \quad (39)$$

$$RedC_{EP} = \left((C_{R,refD} - C_{R,real} + 149.695,44) / (C_{R,refD} + 93.325,68) \right) \cdot 100 \quad (40)$$

Onde:

$RedC_{EP}$ é o percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real e a condição de referência (%);

A área de envoltória e volume total da edificação em bloco único foram obtidas a partir de JÚNIOR, 2020, que estudou em seu trabalho a influência da metodologia prescritiva baseada no antigo procedimento RTQ-C nos blocos que compõem o CEAMAZON. A partir dos desses dados é possível calcular o fator de forma do edifício a partir da Equação 24:

$$A_{env} = 2775,97 \text{ m}^2$$

$$V_{tot} = 5341,07 \text{ m}^3$$

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{tot}} \quad (41)$$

$$FF = 0,52$$

Onde:

FF é o fator de forma da edificação (m^2/m^3);

A_{env} - é a área da envoltória (m^2);

V_{tot} - é o volume total construído da edificação (m^3).

Para obter os limites das classificações mostradas na Figura 29 é necessário calcular o coeficiente que representa os intervalos entre as classes, a partir da Equação 23, que é proporcional ao coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A.

A partir da Tabela 8.3 da PORTARIA INMETRO N° 42/2021, cujo valor, considerando o grupo climático 17 (GC17) que correspondente a cidade de Belém-PA (PBEEDIFICA, 2021) e utilizando o $FF=0,52$, consultando a Tabela 10, podemos obter o valor de $CRC_{EPD-A} = 0,25$, para substituímos na Equação 23, conforme mostrado abaixo.

$$i = \frac{(CRC_{EPD-A} \cdot 100)}{3} \quad (42)$$

$$i = 8,33$$

Onde:

i é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes;

CRC_{EPD-A} é o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A.

Considerando que os intervalos de classificação com base no percentual de redução do consumo de energia primária são definidos a partir de um coeficiente i , e que a escala de classificação deve seguir os limites estabelecidos pela Figura 31, para que a classificação geral da edificação seja A, é válida a Equação 35:

$$RedC_{EP} > 3i$$

$$RedC_{EP} = \left((C_{R,refD} - C_{R,real} + 149.695,44) / (C_{R,refD} + 93.325,68) \right) \cdot 100$$

$$\left((C_{R,refD} - C_{R,real} + 149.695,44) / (C_{R,refD} + 93.325,68) \right) \cdot 100 > 25 \quad (43)$$

Considerando que a edificação não possui consumo de energia térmica entre suas cargas e com base na expectativa de geração renovável de 114.756 kWh/ano, conforme cenário 4 (ver Figura 28), foi possível obter, a partir da Equação 26, o consumo total de energia elétrica da edificação real esperado para o montante de energia gerada na condição NZEB, ou seja, considerando que a edificação deve ter 50%, ou mais, de sua demanda energética anual suprida por energia renovável gerada localmente

$$(G_{EE} \cdot fc_E) \geq 0,5 \cdot \left((C_{EE,real} \cdot fc_E) + (C_{ET,real} \cdot fc_T) \right) \quad (44)$$

$$(G_{EE} \cdot fc_E) \geq 0,5 \cdot (C_{EE,real} \cdot fc_E)$$

$$114.756 \geq 0,5 \cdot (C_{EE,real})$$

$$C_{EE,real} \leq 229.512 \text{ kWh/ano}$$

Expressando o resultado obtido pela aplicação da Equação 26 em função do consumo de refrigeração real, a partir das Equações 31 e 32 e isolando o termo relacionado ao consumo total de energia elétrica e o consumo de refrigeração, temos:

$$C_{EE,real} = C_{R,real} + 58.386,24 \text{ kWh/ano} \quad (45)$$

$$C_{EE,real} \leq 229.512 \text{ kWh/ano}$$

$$C_{R,real} + 58.386,24 \leq 229.512 \text{ kWh/ano}$$

$$C_{R,real} \leq 171.125,76 \text{ kWh/ano}$$

Onde:

G_{EE} é a energia gerada por fontes locais de energia renovável (kWh/ano);

fc_E é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

$C_{EE,real}$ é o consumo total de energia elétrica da edificação real (kWh/ano);

$C_{R,real}$ é o consumo de refrigeração da edificação real (kWh/ano);

Considerando o consumo real máximo de refrigeração estimado a partir da Equação 31, ou seja 171.125,76 kWh/ano, e substituindo este valor na Equação 35, é possível obter o consumo limite de refrigeração da edificação em sua condição de referência, para que a edificação seja considerada NZEB:

$$\left((C_{R,refD} - 171.125,76 + 149.695,44) / (C_{R,refD} + 93.325,68) \right) \cdot 100 > 25$$

$$C_{R,refD} > 59.682,32 \text{ kWh/ano}$$

Considerando o limite encontrado, podemos finalmente obter os dados de consumo limite da edificação na sua condição de referência:

$$C_{EE,refD} = C_{R,refD} + 93.325,68 \text{ kWh/ano} \quad (46)$$

$$C_{EE,refD} \sim 153.008 \text{ kWh/ano}$$

Podemos resumir os parâmetros obtidos e demais limites considerando que uma edificação NZEB, mostrados a partir da Tabela 18.

Tabela 18: Resumo dos dados avaliados na edificação.

Consumo/Geração	Valor/Limite (kWh/ano)	% $C_{EE,real}$ INI-C	Cenários observados
Refrigeração real	$\leq 171.125,76$	$\leq 74,6\%$	57%
Iluminação real	19.483,20	8,5%	10%
Equipamentos	38.903,04	16,9%	33%
Energia Renovável	114.756	50%	49,3%
Consumo Total real	229.512	-	-

Os limites encontrados para consumo de refrigeração a partir das cargas de ar-condicionado foram obtidos por expressões algébricas disponíveis na INI-C, cuja metodologia foi utilizada uma vez que não se dispunha de todos os parâmetros para uma classificação

completa da edificação. Os valores encontrados representam limites que poderão auxiliar em futuros estudos de envoltória.

4.5.5 Emissão total de dióxido de carbono da edificação

Para avaliação das emissões de dióxido de carbono, foram utilizados os valores obtidos para condição real considerando que a região do sistema se encontra conectada ao SIN, posteriormente a condição de referência, aplicamos os dados obtidos às equações 28, 29 e 30.

Para a representação do cálculo de emissão total de dióxido de carbono da edificação real $E_{CO_2,real}$, é possível obter conforme aplicação da Equação 29:

$$C_{EE,real} \leq 229.512 \text{ kWh/ano}$$

$$C_{ET,real} = 0 \text{ kWh/ano}$$

$$G_{EE} = 114.756 \text{ kWh/ano}$$

$$fe_E = 0,090 \text{ kg. CO}_2/\text{kWh}$$

$$E_{CO_2,real} = \frac{(C_{EE,real} \cdot fe_E) + (C_{ET,real} \cdot fe_T) - (G_{EE} \cdot fe_E)}{1000} \quad (47)$$

$$E_{CO_2,real} = \frac{(229.512 \cdot 0,090) + (0 \cdot fe_T) - (114.756 \cdot 0,090)}{1000}$$

$$E_{CO_2,real} = 10,33 \text{ tCO}_2/\text{ano}$$

Para a representação do cálculo de emissão total de dióxido de carbono da edificação da condição de referência $E_{CO_2,ref}$, podemos obter conforme aplicação da Equação 30:

$$C_{EE,refD} = 153.008 \text{ kWh/ano}$$

$$C_{ET,real} = 0 \text{ kWh/ano}$$

$$fe_E = 0,090 \text{ kg. CO}_2/\text{kWh}$$

$$E_{CO_2,ref} = \frac{(C_{EE,ref} \cdot fe_E) + (C_{ET,ref} \cdot fe_T)}{1000} \quad (48)$$

$$E_{CO_2,ref} = \frac{(153.008 \cdot 0,090) + (0 \cdot f_{e_T})}{1000}$$

$$E_{CO_2,ref} = 13,77 \text{ tCO}_2/\text{ano}$$

Com os valores obtidos anteriormente, calcula-se o percentual de redução ou acréscimo de emissão de dióxido de carbono P_{CO_2} , a partir da Equação 28:

$$E_{CO_2,real} = 10,33 \text{ tCO}_2/\text{ano}$$

$$E_{CO_2,ref} = 13,77 \text{ tCO}_2/\text{ano}$$

$$P_{CO_2} = \left[\frac{E_{CO_2,real}}{E_{CO_2,ref}} - 1 \right] \cdot 100 \quad (49)$$

$$P_{CO_2} = \left[\frac{10,33}{13,77} - 1 \right] \cdot 100$$

$$P_{CO_2} = -24,98\%$$

Por meio deste resultado, conclui-se que há uma diminuição considerável nas emissões de dióxido de carbono na condição real da edificação em relação à sua condição de referência.

Tal resultado demonstra um nível de eficiência alto, uma vez que o sistema não dispõe de consumo de energia térmica e ainda dispõe de uma miniusina solar, destacando assim o potencial de eficiência da edificação.

Destaca-se que apesar da avaliação da INI-C não considerar os ônibus elétricos, o mesmo melhoraria ainda mais a proporção de redução de emissões, uma vez que cada ônibus é 100% elétrico e evita, em média, a emissão de 118,7 tCO₂/ano na atmosfera, o equivalente ao plantio de 847 árvores por veículo, considerando 72.000 km rodados/ano (BYD,2022).

Com relação a análise por emissões de CO₂, os resultados trouxeram informações necessárias para entendimento do tema com relação ao nível de grandeza quando comparados à redução de emissões proveniente do consumo por veículos elétricos, servindo de base para a definição de prioridade e incentivo dessa modalidade em iniciativas de precificação de carbono.

A avaliação de cenários e aplicação resumida da INI-C deste capítulo demonstram resultados promissores com relação ao potencial do balanço energético da edificação. E que principalmente após a instalação do sistema de geração solar FV, em que ficaram evidenciados parâmetros essenciais para certificação NZEB, a partir dos critérios de avaliação disponíveis na INI-C. Sendo ainda imprescindível a confirmação das avaliações por parte dos demais sistemas como envoltória e refrigeração a partir de cargas de ar-condicionado.

5 CONCLUSÃO

A partir dos cenários observados, é possível concluir que a instalação do SH concomitantemente ao contexto de redução de consumo de energia elétrica em decorrência da pandemia do Covid-19 proporcionou janelas de avaliações excepcionais, tendo em vista os impactos do cenário pandêmico sobre a intercorrência na eficiência energética em edificações, resultante da dinâmica da sua utilização pela sociedade.

O trabalho abordou conceitos essenciais para os estudos de eficiência energética em edificações e informações referentes às etiquetagens de desempenho energético de edificações de acordo com a metodologia de avaliação INI-C, que, apesar de ter sido recentemente introduzida após revisões do antigo RTQ-C, propõe um método que traz similaridade com procedimentos já experimentados em outros países pelo mundo, de acordo com a literatura consultada, como é o caso da avaliação NZEB e Emissões de Carbono.

Com relação à proposição de avaliações adicionais de metodologias compatíveis com o conceito NZEB e Emissões de Carbono na edificação proposta, assim como outras edificações do campus, poderá ser realizada em trabalhos futuros uma análise com padrão de avaliação LEED, estabelecendo um comparativo com a INI-C, bem como uma análise crítica.

Foi demonstrada a concepção do balanço energético do CEAMAZON com cargas fundamentais para análise de eficiência energética em edificações como: iluminação, climatização a partir de cargas de ar-condicionado e demais equipamentos de uso comum, que possuem uma relação de dependência com os estudos de envoltória como propõe a INI-C.

Os cenários avaliados na primeira parte do trabalho remontam o período excepcional vivido pela sociedade a partir do ano de 2020, no contexto da pandemia de Covid-19, que ao alterar conjuntamente a dinâmica social, induziu transições temporárias ou permanentes nos balanços energéticos e padrões de consumo de energia elétrica nas edificações de todo o planeta, haja vista a extensão geográfica dos efeitos pandêmicos.

Com a metodologia apresentada, foi possível constatar a fundamental importância da base de dados de consumo do SISGEE e dos dados de geração do Sistema de Gerenciamento do SH do CEAMAZON para execução da primeira etapa do trabalho, que corresponde à avaliação do BE da edificação nos cenários pré, durante e pós pandemia. Na segunda etapa, verificou-se a necessidade de compreensão dos métodos, parâmetros e expressões disponíveis na INI-C, a partir das características de edificações NZEB, para a obtenção do consumo total da edificação e, conseqüentemente, a análise de quantificação de emissões de CO₂.

Em geral, com a avaliação de cenários e aplicação resumida da INI-C, a edificação objeto deste estudo demonstra resultados promissores com relação ao balanço energético e possui um forte potencial para obtenção de uma certificação NZEB mediante os procedimentos disponíveis na INI-C, sendo ainda imprescindível a confirmação das avaliações por parte do sistema de envoltória e do sistema de refrigeração a partir de cargas de ar-condicionado.

Apesar da indisponibilidade da análise de envoltória e do cálculo de carga térmica para refrigeração a partir das cargas de ar-condicionado, será possível, em trabalhos futuros, compará-los com os dados resultantes de cálculos algébricos e com a análise de emissões de dióxido de carbono demonstrados neste trabalho.

Como o consumo de refrigeração a partir das cargas de ar-condicionado representa uma considerável parcela do consumo total da edificação, verifica-se que, em caso de redimensionamento desse sistema, poderá levar-se em conta a carga térmica, observando-se os limites desenvolvidos neste artigo.

A metodologia apresentada pode ser aprimorada visando a obter um pré-diagnóstico do limite de carga térmica e consumo de refrigeração de maneira mais prática, baseado em dados existentes e disponíveis na própria edificação.

A avaliação do sistema de iluminação realizado neste estudo é apropriada e deve ser mantida atualizada com os referidos projetos luminotécnicos, uma vez que a análise depende de levantamento de equipamentos instalados e das características relacionadas à respectiva densidade de potência do ambiente avaliado. Porém, para que a certificação do sistema seja válida, é fundamental a implementação de sistemas de controle e automação do sistema.

A inclusão da avaliação da influência das estações de abastecimento de veículos elétricos no balanço energético da edificação na primeira etapa do trabalho não trouxe prejuízo para a avaliação final, uma vez que traz contemporaneidade ao tema relacionado à mobilidade elétrica no campus. Além disso, apesar dos dados de medição de consumo das estações de abastecimento dos ônibus não estarem disponíveis até a conclusão deste trabalho, a estimativa de consumo dos equipamentos poderá ser comprovada em trabalhos futuros, após a conclusão da infraestrutura de comunicação dos dados com sistemas de gerenciamento de energia.

Visando a um melhor gerenciamento de energia, observa-se, de fato, a necessidade de um acompanhamento do consumo relacionado ao abastecimento dos ônibus elétricos, com a integração dos dados de consumo das centrais de abastecimento ao SISGEE ou ao Sistema de Gerenciamento do SH. Com isso, será possível estabelecer limites padronizados de consumo para as centrais de abastecimento de veículos elétricos, que devem ser preferencialmente integradas às redes elétricas das edificações NZEB que possam ser desenvolvidas no campus.

A análise por emissões de CO₂ trouxe informações necessárias para entendimento do tema, principalmente com relação aos níveis de grandeza, sendo assim possível estabelecer parâmetros comparativos às emissões provenientes do consumo dos veículos elétricos, servindo de base para um entendimento de eventuais definições de prioridade em iniciativas de precificação de carbono que possam surgir no campus em trabalhos futuros.

Embora o SISGEE e o Sistema de Gerenciamento do SH sejam ferramentas robustas de aquisição de dados em tempo real, observa-se que para uma efetiva análise de balanço energético se faz necessária a unificação desses sistemas em uma plataforma única. A unificação do gerenciamento de energia melhoraria a confiabilidade de medição em tempo real e evitaria a necessidade de uso de fatores de correção em bases de dados distintas, padronizando assim o sistema de medição.

Um futuro sistema de gerenciamento energético unificado com as propriedades citadas, que incorpore indicadores de consumo de energia, geração solar fotovoltaica, balanço energético e emissões de dióxido de carbono, poderão ser comparados aos padrões de conversão preestabelecidos (equivalência ao plantio de árvores por kWh economizado, por exemplo) a partir de ferramentas *dashboard*, já usuais de mercado e adaptáveis aos supervisórios existentes.

Com essa sistemática, seria possível fazer do CEAMAZON, ainda que em caráter experimental, uma edificação com iniciativa própria pioneira no mercado de precificação de carbono, que no Brasil ainda se encontra com iniciativas indefinidas no seu desenvolvimento. Dessa forma, a edificação poderia seguir uma tendência mundial, expandindo as fronteiras amazônicas e firmando-se como a referência nacional de excelência em eficiência energética.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, B. S. **Utilização de métodos ativos na transformação de um prédio em um edifício de energia zero: Estudo de caso da Biblioteca Central da Universidade Federal do Pará.** Dissertação - Mestrado em Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, 2020.

ANDRADE, V. B. *et al.* **Planejamento - Modelagem e Simulação de Cenários da Operabilidade de uma Mini Rede Híbrida com Geração Fotovoltaica-Diesel, Armazenamento de Energia Conectada à Rede,** Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Paraná, 2020.

ATANASOAE, P. *et al.* **The Influence of Renewable Energy Ratio and Conversion Factors on the Energy Performance of Buildings.** SIELMEN 2021 - Proceedings of the 11th International Conference on Electromechanical and Energy Systems, p. 35–38, 2021.

CARVALHO, I. S. *et al.* **Modelagem e validação de um sistema multiplataforma para Gerenciamento de Energia Elétrica - SISGEE.** SBAI – 2019 - Anais do 14 Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2019.

BRASIL. **Mecanismos de Carbono. Estudos de Longo Prazo;** Documento de Apoio ao PNE 2050, Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2018.

BRASIL. **Nota Técnica-Ações para Promoção da Eficiência Energética nas Edificações Brasileiras: No Caminho da Transição Energética.** Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2020a.

BRASIL. PORTARIA N° 42, DE 24 DE FEVEREIRO DE 2021. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.** Ministério da Economia, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia-INMETRO. 2021. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002707.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2022.

BRASIL. **Precificação de carbono: riscos e oportunidades para o Brasil.** Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2020b.

BYD (2021). **BYD D9W 20.410 PADRON PISO BAIXO.** Disponível em: http://www.byd.ind.br/2020/wp-content/uploads/2020/12/BYD-D9W-20.410-v.-7.0-2020_print-min.pdf. Acesso em: 15 set. 2021.

BYD (2022). **Chassis de ônibus 100% elétricos BYD Transporte público sem poluição.** Disponível em: <https://www.byd.com.br/produtos/onibus/>. Acesso em: 30 mai. 2022.

ELETROBRAS. **Chamada Pública Procel Edifica - NZEB Brasil.** Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Chamada-Publica-Procel-Edifica2019.aspx>, Acesso em: 15 set. 2021.

ELETROBRAS; PROCEL EDIFICA. **Procel Edifica - Eficiência Energética em Edificações e Equipamentos Eletromecânicos**. p.113, 2011.

ELETROBRAS; PROCEL EDIFICA; INMETRO. **Manual para etiquetagem de edificações públicas gestor público**. p. 121, 2014.

EUROPEAN COMMISSION. ICT for a Low Carbon Economy Smart Buildings. Findings by the High-Level Advisory Group and the REEB Consortium. **European Commission Information Society and Media**. Luxembourg, 2009. doi 10.2759/14781 Disponível em: https://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/sb_publications/smartbuildings-ld.pdf , Acesso em: 15 set. 2021.

GBC Brasil. **Conheça a Certificação LEED**. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>. Acesso em: 15 set. 2021.

GONÇALVES, Bernardo B. B. **A Transição Energética na Alemanha**. p. 1–49, 2015. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

JÚNIOR, L. O. B. P. **Análise da Eficácia na Mudança da Metodologia Prescritiva do RTQ-C: Diagnóstico Energético da Envoltória de Edificações em Blocos Concatenados**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

KHANNIBA, M. *et al.* **Renewable electricity production, economic growth and CO2 emissions: The Moroccan experience**. 2020 5th International Conference on Renewable Energies for Developing Countries, REDEC 2020, v. 5, Marrocos, 2020.

KIM, J. H. *et al.* **Analysis of photovoltaic applications in zero energy building cases of IEA SHC/EBC Task 40/Annex 52**, Sustainability (Switzerland), 7(7), pp. 8782–8800, 2015.

MARUF AHMED, S. M. *et al.* **An approach of a nearly zero-energy building (NZEB) to build an official zone with Micro-grid**, 6th IEEE International Energy Conference. 2020

PBEEDIFICA (2021a). **Sobre o PBE Edifica**. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/sobre> Acesso 15 set. 2021.

PBEEDIFICA (2021b). **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/inic> Acesso em: 17 nov. 2021.

PBEEDIFICA (2021c) **Manual de aplicação da INI-C Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Available at: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual_INI-C_JUN_V01.pdf. 2021.

REY-HERNÁNDEZ, J. M. *et al.* **Energy analysis at a near zero energy building. A case-study in Spain**, MDPI, Energies, 11(4), 6 abr. 2018.

SOUZA, Ana Carolina D. B. **Eficiência energética de edificações: visando a certificação pelo RTQ-C e análise energético financeira e ambiental**. 2017. Dissertação - Mestrado em

Arquitetura e Urbanismo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

TABORA, J. M. *et al.* **Hybrid system assessment in on-grid and off-grid conditions: A technical and economical approach.** *Energies*, v. 14, n. 17, 1 set. 2021.

TRUONG, N. X. *et al.* **Grid-connected PV system design option for nearly zero energy building in reference building in Hanoi,** IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, 2017.

UE. DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). **Official Journal of the European Union**, 2010.

UFPA (2021). **UFPA mantém suspensão de atividades acadêmicas e administrativas presenciais por tempo indeterminado.** Disponível em: <https://www.ppgee.propesp.ufpa.br/index.php/br/programa/noticias/todas/785-ufpa-mantem-suspensao-de-atividades-academicas-e-administrativas-presenciais-por-tempo-indeterminado>
Acesso em: 15 set. 2021.

UFPA. **Nota GT UFPA sobre a Pandemia do Covid-19.** Disponível em: <https://www.ppgee.propesp.ufpa.br/index.php/br/programa/noticias/todas/781-nota-gt-ufpa-sobre-a-pandemia-do-covid-19> Acesso em: 15 set. 2021.

UNIFEI. Conservação de energia. **Conservação de Energia - Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações**, p. 102–114, 2006.

USGBC - U.S. Green Building Council. **Green building for everyone within a generation.** Disponível em: <https://www.usgbc.org/about/brand> Acesso em: 15 set. 2021.